

# Engenharia Moderna: Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria 3


Fábio Andrijauskas
Annete Silva Faesarella
Laira Lucia Damasceno de Oliveira
(Organizadores)



Atena Editora
Ano 2022



# **Engenharia Moderna:** Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria 3


**Fábio Andrijauskas**
**Annete Silva Faesarella**
**Laira Lucia Damasceno de Oliveira**
(Organizadores)



Atena Editora
**Ano 2022**

**Editora chefe**
Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
**Editora executiva**
Natalia Oliveira
**Assistente editorial**
Flávia Roberta Barão
**Bibliotecária**
Janaina Ramos
**Projeto gráfico**
Bruno Oliveira
Camila Alves de Cremo
Daphynny Pamplona
Luiza Alves Batista
Natália Sandrini de Azevedo
**Imagens da capa**
iStock
**Edição de arte**
Luiza Alves Batista

Engenharia moderna: soluções para problemas da sociedade e da indústria 3

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo
**Correção:** Yaiddy Paola Martinez
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga
**Revisão:** Os autores
**Organizadores:** Fábio Andrijauskas
Annete Silva Faesarella
Laira Lucia Damasceno de Oliveira

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

E57 Engenharia moderna: soluções para problemas da sociedade e da indústria 3 / Organizadores Fábio Andrijauskas, Annete Silva Faesarella, Laira Lucia Damasceno de Oliveira. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-0095-0
DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.950221105

1. Engenharia. 2. Sociedade. 3. Indústria. I. Fábio Andrijauskas (Organizador). II. Annete Silva Faesarella (Organizadora). III. Laira Lucia Damasceno de Oliveira (Organizadora). IV. Título.

CDD 620

**Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166**

**Atena Editora**
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA E ENGENHARIAS

Atena Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access, desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce,* ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

# APRESENTAÇÃO

Nos anos de 2020 e 2021 tivemos a primeira e a segunda edição do livro "Engenharia Moderna: Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria'' e agora, em 2022, com muito orgulho lançamos sua terceira edição. Esta edição atual provém de trabalhos desenvolvidos durante a pandemia da COVID-19, um período que nos fez refletir sobre a importância da ciência e o desenvolvimento tecnológico no mundo atual, aliados na descoberta de soluções para problemas de diferentes âmbitos, haja vista as vacinas desenvolvidas no intuito de resolver esta situação tão sensível e desafiadora. Realmente, um momento que mudou a vida de todos e que ficará para sempre em nossas lembranças.

Em tempos que, mais do que nunca, necessitam de união e paz, apresentamos este conteúdo com diversos autores, demonstrando que a diversidade de pensamento, ideias e conhecimento são pilares para o avanço da ciência. Cada capítulo foi elaborado com dedicação e comprometimento dos pesquisadores, e traz mais um resultado de sucesso para diversas áreas do conhecimento, como as Engenharias, a Saúde e o Meio Ambiente.

Mais uma vez, agradecemos à Editora Atena pela oportunidade do lançamento do nosso terceiro livro, proporcionando uma via eficaz de disseminação de conhecimento e de suas contribuições para a sociedade e para a comunidade científica.

Finalizamos com uma frase da oração de São Francisco que diz: "**Senhor, fazei de mim instrumento de vossa paz**".

**Paz e bem!**

Annete Silva Faesarella

Fábio Andrijauskas

Laira Lucia Damasceno de Oliveira

## SUMÁRIO

# CAPÍTULO 1

# A MODERN PANORAMA OF THE INTERNET OF MEDICAL THINGS DEMONSTRATING ITS APPLICATION LANDSCAPE

**Reinaldo Padilha França**
School of Electrical and Computer Engineering (FEEC)
State University of Campinas (UNICAMP)
Campinas – SP
orcid.org/0000-0002-7901-6691

**Ana Carolina Borges Monteiro**
School of Electrical and Computer Engineering (FEEC)
State University of Campinas (UNICAMP)
Campinas – SP
orcid.org/0000-0002-8631-6617

**Rangel Arthur**
Faculty of Technology (FT)
State University of Campinas (UNICAMP)
Campinas – SP
orcid.org/0000-0002-4138-4720

**Francisco Fambrini**
Faculty of Technology (FT)
State University of Campinas (UNICAMP)
Campinas – SP
orcid.org/ 0000-0002-8841-5803

**Julio Cesar Pereira**
Faculty of Technology (FT)
State University of Campinas (UNICAMP)
Campinas – SP
orcid.org/0000-0002-4546-3282

**Vicente Idalberto Becerra Sablón**
College of Electrical Engineering (EE)
São Francisco University (USF)
Campinas – SP
https://orcid.org/0000-0003-3127-1906

**Yuzo Iano**
School of Electrical and Computer Engineering (FEEC)
State University of Campinas (UNICAMP)
Campinas – SP
orcid.org/0000-0002-9843-9761

**ABSTRACT:** Internet of Medical Things is a strand of IoT within the health sector relating to patient monitoring and diagnostics; data collection, transfer, storage, and collaboration between digital systems, i.e., the adoption of technology by the various branches of activity in the medical sector. Considering since patients are connected to sensors to measure vital signs and other biometric information, problems can be quickly diagnosed, through IoMT a better quality health service can be provided, and the resources used more efficiently, as also the performance of IoMT among smart health devices and tools. Also relating that IoMT technology can be the precursor to help prevent and manage current and future pandemics, since any component of an IoMT health system must have sufficient cybersecurity against a maliciously intended digital attempt, considering that when deployed on a large scale. As also considering that it is necessary to provide high-quality health care throughout the health care cycle, health IoMT applications must be digitally secure, as patients expect private information to remain confidential by relating private health information concerning data collection by the IoMT with specific parameters, it must also at the same time guarantee privacy related to patient

privacy based on a wide spectrum of the sharing of information. Therefore, this manuscript aims to provide an updated overview of the Internet of Medical Things and your technologies, showing the fundamentals of this disruptive technology, demonstrating a landscape view to the applied aspect, as also key concerns, and challenges, with a concise bibliographic background, featuring the potential of technologies.
**KEYWORDS:** Analytics, Big Data, Machine Learning, IoMT, IoT, Artificial Intelligence, Smart Medical Sensors, Privacy, Security, IoMT devices, Medical Data.

## 1 I INTRODUCTION

Far beyond the aspects of our personal life, technology is drastically influencing all sectors of society, emphasizing all its communication aimed at the digital universe towards progress, representing that technology has become society's most powerful ally, transforming all processes in digital. Exemplifying how modern communication is based on technology as its direct channel, responsible for reading and translating the voice of a client in a business environment or even patients in health institutions, generating properties capable of connecting and satisfying clients/patients through experiences based on smart software. This represents in the modern contemporary world, the customer experience exceeds the price and the product as the key differentiator of a given brand, i.e., people tend to pay more to have a better experience, and this is also applied in the health sector (FUKUDA, 2020).

After the adoption of IoT by the various branches of society, it was natural that an adaptation movement according to the challenges faced by the health sector would occur. Analyzing that the digital technology experience provided by IoT applied in health care offers patients a dynamic and continuous posture, transforming processes into digital to move static processes, slowness, and ignorance of the patient (TARDIEU, DALY, ESTEBAN-LAUZÁN, HALL, MILLER, 2020).

When relating digital transformation to the most current and modern digital presence currently existing in society, consisting of the most expressive example is the use of smartphones. Representing devices that are easy to use and intuitive, that the common resistance to new technologies has disappeared, even considering that these devices can receive data analysis and diagnostic analysis reports on a doctor's smartphone, representing practicality combined with time savings, which are crucial in the health sector (DORSEY, MCCONNELL, SHAW, TRISTER, FRIEND, 2017).

Considering that the Internet of Things is a concept with its main characteristics in the exchange of information, being more closely linked to companies and the maximization of production together with an improvement in results and revenue, also aiming to improve the management of a given system of which the device is part, seeking to develop devices connected to the internet and with communication power. This technology also increases

the performance of this device that is part of a given system through external data, analyzed that IoT is not only used for sending messages, but also for receiving (FRANÇA, MONTEIRO, ARTHUR, IANO, 2020; ADRYAN, OBERMAIER, FREMANTLE, 2017; FRANÇA, MONTEIRO, ARTHUR, IANO, 2020).

When relating health and the application of IoT, the Internet of Medical Things emerges, treated as an evolution of IoT, focused exclusively on health. Used to achieve goals related to the provision of personalized service, through mobile devices equipped with smart applications, emergency care kits, medical equipment for home use, service applications, among others, that is, with data-driven treatment through the use of devices adapted to patients (JOYIA, LIAQAT, FAROOQ, REHMAN, 2017; SHIN, HWANG, 2017; HASSANIEN, DEY, BORRA, 2018).

IoMT corresponds to the Internet of Medical Things, a connected infrastructure that collects, groups, and transmits data with the potential to transform medical technology and the healthcare industry, automating key processes and improving diagnosis and treatment. The growth is attributed to the need to digitize health systems, as the population ages, the demand for those suffering from chronic diseases increases, requiring more efficient mobile health technologies. However, one of the main challenges is still in the education of professionals to correctly read the information generated by these devices and make their diagnoses (JOYIA, LIAQAT, FAROOQ, REHMAN, 2017; SHIN, HWANG, 2017; HASSANIEN, DEY, BORRA, 2018).

IoMT will reach the health sector in a disruptive way, with health institutions supporting this technology, depending heavily on the ability to understand the breadth of the transformation it needs and the challenge of implementing their digital strategies as quickly as possible. Considering that the essence of IoMT basically consists of digitization of processes followed by dematerialization (be it paper or other forms of registration), consequently democratization and ultimately disruption. Analyzing that IoMT technology is not just a massive adoption of new technologies and devices, but a digital revolution in the modern world related to health (JOYIA, LIAQAT, FAROOQ, REHMAN, 2017; SHEHABAT, AL-HUSSEIN, 2018; BAKER, XIANG, ATKINSON, 2017).

Analyzing that the number of elderly people worldwide increases exponentially, that is, people over 60 years of age, representing that these individuals will need more care and monitoring, from this focus is this is one of the main utilities and applicability of IoMT (SHEHABAT, AL-HUSSEIN, 2018; BAKER, XIANG, ATKINSON, 2017).

Or even relating that the real value offered by IoMT lies in the impact that can be caused by the appropriate use of the wealth of data collected by the numerous devices and platforms of IoMT, and not only in technology and its autonomy but which can be much more significant. Reaching fields of modern medicine such as precision medicine, it can gather large volumes and a wide variety of patient data in a highly precise and detailed manner.

This can allow doctors an unprecedented level of perception of patients' health. Considering that IoMT platforms can be used to collect data directly from diagnostic devices, such as those used to measure blood glucose, blood pressure heart rate, and among many other aspects, and compiling this information in a centralized repository, considering that this compiled data can be used to obtain a clear picture of an individual/patient's health situation (HASSANIEN, DEY, BORRA, 2018; MANOGARAN, CHILAMKURTI, HSU, 2018; FRANÇA, MONTEIRO, ARTHUR, IANO, 2021).

Therefore, this chapter aims to provide an updated overview of the Internet of Medical Things and your technologies, showing the fundamentals of this disruptive technology, demonstrating a landscape view to the applied aspect, as also key concerns, and challenges, with a concise bibliographic background, featuring the potential of technologies.

## 2 I IOMT FUNDAMENTALS

Health applications aggregating IoT potentially have the possibility of offering patient care in various configurations, including treatment for acute cases (in the hospital), long-term treatment (through "home care"), community-based treatment (typically residential), and even has the potential to precisely track people, supplies, equipment, or even service animals and also analyzing the captured digital data (FRANÇA, MONTEIRO, ARTHUR, IANO, 2020; FRANÇA, MONTEIRO, ARTHUR, IANO, 2020)

With the emergence of the Internet of Medical Things, a strand of IoT within the health sector emerged, relating to the adoption of IoT technology by the various branches of activity in the medical sector. Since patients are connected to sensors to measure vital signs and other biometric information, problems can be quickly diagnosed, through IoMT a better quality health service can be provided, and the resources are used more efficiently (SAHEB, IZADI, 2019; CHEN, HO, LIU, LU, 2017; DIN, ALMOGREN, GUIZANI, ZUAIR, 2019).

A more global view of IoT in health can include the following areas such as patient monitoring and diagnostics; data collection, transfer, storage, and collaboration between digital systems; the performance of IoMT among smart health devices and tools such as smart wheelchairs, RFID tags, sensors, smart beds, among others; and even with regard to the connected emergency units, response vehicles such as ambulance, and other hospital sectors connected by the IoMT (KSHIRSAGAR, POTE, PALIWAL, HENDRE, CHIPPALKATTI, DHABEKAR, 2020; ZAMANIFAR, 2020).

In this context, it is worth mentioning the importance of applying IoMT wearables through smart bracelets and watches, as more common examples, allowing the monitoring of a series of items, such as heartbeat, the number of steps, movement, among other aspects (QURESHI, KRISHNAN, 2018; LUNA-DELRISCO, PALACIO, OROZCO, MONCADA, PALACIO, MONTEALEGRE, DIAZ-FORERO, 2018; ADENIYI, OGUNDOKUN,

AWOTUNDE, 2021).

As well as several other application examples that are already being used by doctor's offices and hospitals to provide better care for their patients, such as the use of smart beds, reading various vital indicators of the patient, informing a central system about their condition. Or even the use of RFID tags, which allow equipment through radio frequency within an environment, monitoring, and management of medical assets (ASHWINI, VIMALA, 2020).

However, an important technological aspect is related to threats to digital security, recognizing the respective concerns of data leaks, geographical limitations, and even digital privacy. Although the technology has advanced enough to transfer data between the cloud and a multitude of connected devices, the security of IoT devices and data remains of concern, considering that IoMT is an applied aspect of IoT. In this respect, the concern is valid considering that an advanced and wearable intelligent IoMT sensor continuously transmits confidential data about a patient's health condition. In addition, data privacy becomes a highly confidential matter in the event of a pandemic, such as COVID-19 today, when it comes to contact tracking (FRANÇA, MONTEIRO, ARTHUR, IANO, 2021; HUREIB, GUTUB, 2020).

However, in general, IoT security concerns or their vulnerabilities need to be addressed by manufacturers and developers, technically listing advances in protecting devices or related software from digital intruders, before IoMT devices are distributed in a secure environment health institution. Relating that IoMT technology can be the precursor to help prevent and manage current and future pandemics, considering that when deployed on a large scale, IoMT provides society with an incomparable amount of data, from monitoring patients' biometric signals to identifying when an elderly patient falls using data from an accelerometer, and analysis in the face of catastrophes (SINGH, JAVAID, HALEEM, SUMAN, 2020; ZHANG, WU, 2020; NDIAYE, OYEWOBI, ABU-MAHFOUZ, HANCKE, KURIEN, DJOUANI, 2020).

In this sense, health IoMT applications must be digitally secure, since any component of an IoMT health system must have sufficient cybersecurity against a maliciously intended digital attempt. Because this proportionately affects digital privacy, as patients expect specific private information to remain confidential by relating private health information in relation to data collection by the IoMT with specific parameters related to patient privacy based on a wide spectrum of factors, such as profession, genre, age, religion, and even any others personal preference. Therefore, IoMT health systems must allow the sharing of information, considering that the technological factor is necessary to provide high-quality health care throughout the health care cycle and, however, it must also at the same time guarantee privacy (HUREIB, GUTUB, 2020).

IoMT's digital trust must correspond with respect to the aspects in which the

information being "captured" by the sensors, remain correct, not be corrupted in any way at the source or transmission, or deliberately altered by some "malware" that gains access to unwanted on the IoMT platform via the Internet. Considering that this information, if corrupted, results in aspects of reliability in the information traffic via the health IoMT system, which discredits the technology in relation to patient care, allowing a better evaluation, supervision, and treatment (ALSUBAEI, ABUHUSSEIN, SHANDILYA, SHIVA, 2019).

## 3 I IOMT IN HEALTH

Considering the existence of several benefits regarding the application of IoMT in health organizations and institutions, it is possible to consider the following advantages in relation to consistent data, considering that a common problem faced in the health sector is the lack of information about this sense, the access of consistent data by health professionals, hindering a more assertive service, based on past data (TARDIEU, DALY, ESTEBAN-LAUZÁN, HALL, MILLER, 2020).

Also considering the remote access that relieves health clinics and hospitals, allowing patients to be monitored through remote access, allowing a lot of data to be collected for assistance, and preventing patients from having to be kept waiting in the clinic environment or from the hospital. This guarantees greater comfort and tranquility to the patient, who can continue with all his activities normally and, if he has any health problem that needs assistance, he can get in direct contact with any available professional (THUEMMLER, BAI, 2017; ESTRELA, MONTEIRO, FRANÇA, IANO, KHELASSI, RAZMJOOY, 2018).

Personalized service is another benefit that IoMT provides, in view of the volume of consistent patient data through the use of IoMT devices implanted in it, guarantees a personalized analysis for each case. Since, through this, health professionals discover habits and other information concerning health problems helping in a later treatment or even avoiding the appearance of any complications (SHABAN-NEJAD, MICHALOWSKI, BUCKERIDGE, 2018).

Or even with regard to constant feedback based on the monitoring facilitated through these IoMT devices allowing there to be continuous and uninterrupted medical feedback about the patient's reactions to the treatment applied. In this sense, the health professional will be able to check the clinical status in real-time of the patient's behavior according to the treatment given, since the IoMT allows a more assertive decision making between continuing or changing the medical approach (FARAHANI, FIROUZI, CHAKRABARTY, 2020; PARK, CHOI, 2019).

It is also possible to mention applications of the capacity of IoMT technology in relation to sleep monitoring, through wearables used in conjunction with intelligent algorithms to identify atrial fibrillation. Or even with regard to IoMT application systems aimed at patients

suffering from bulimia (eating disorder), considering the use of sensors in the patient's environment, whether, in a hospital or even home monitoring, it can detect the increase in the temperature of the patient body or blood pressure or even types of odors, as vomit (YACCHIREMA, SARABIA-JÁCOME, PALAU, ESTEVE, 2018)

Or, the possibility of using IoMT sensors that can be used to detect abuse of physical exercises such as excessive cardiac training or an accelerated walking activity when compared to walking at a normal pace. Analyzing the data obtained and collected from these activities, representing that this can provide valuable information in the diagnosis and management of related diseases (ALEXANDRE, POSTOLACHE, 2018)

Also mentions that IoMT technology can be used in terms of geolocation, in relation to the prevention of errant behavior or other undesirable mobility behaviors of patients with Alzheimer's Disease. Considering that these patients suffer from comorbidities with other diseases, such as hypertension, macular degeneration, or even diabetes, aiming at the use of interconnected IoMT devices capturing data to monitor the unique signs and symptoms of these conditions. Since that, it is possible to use IoMT in conjunction with Artificial Intelligence techniques, such as Machine Learning, providing a more continuous, proactive, and personalized care for Alzheimer's patients. In this example, it is possible to highlight the use of IoMT technology in the area of care for the elderly, as a useful and timely approach (ALJEHANI, ALHAZMI, ALOUFI, ALJEHANI, ABDULRAHMAN, 2018)

As well, through the IoMT technology, it is possible to provide a policy level of "zero tolerance" to violence related to so much violence from visitors and families directed to health service workers or patients, or even records of violence among health workers, although health institutions are equipped with video surveillance systems. Through IoMT technology, it is possible to track the movement of medical service personnel, patients, and visitors, which can generate warnings of threatening behavior, or even through biometric sensors could also be used to detect aggression or stress of those who are using or residing in institutions of health (RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, RODRÍGUEZ, ELIZONDO-MORENO, HERAS-GONZÁLEZ, GENTILI, 2020).

Also relating that in hospital environments, scarce resources are shared such as electrocardiogram equipment, infusion pumps, oxygen tanks, and analgesic medication pumps controlled by patients can be tracked via IoMT, keeping a record of maintenance and monitoring of this equipment. Also aiming that IoMT technology could also be used to monitor the equipment that needs maintenance (recharged or calibrated) to alert the maintenance team of such conditions (JOYIA, LIAQAT, FAROOQ, REHMAN, 2017; SHIN, HWANG, 2017).

It is also possible to employ an RFID tag or barcode tag allowing many supplies to be tagged for scanning, screening, or even checked out of the warehouse or administered to the patient, facilitating the billing of the service provided, in cases of care treatments for

acute cases or long-term treatment. Also considering that in a residential setting, medical supplies could be tagged with RFID tags to monitor and alert when the amount of that supply is small or even alert the home care team when an item is being overused (JOYIA, LIAQAT, FAROOQ, REHMAN, 2017; SHIN, HWANG, 2017).

## 4 I IOMT AND BIG DATA

With IoT, “wearable” devices, and mobility (in general), health will have something extremely valuable in your hands, i.e., patient data, considering data in different formats (“big data”), it is possible to use data analysis (“data analytics”) to detect the “patterns” of data collected from patients via “wearables”, which will monitor the symptoms of disease in patients, representing the evolution of data by “wearable” technology for science “big data” or even “data analytics”. This will help the doctor measure the progression of the disease by capturing and, objectively, “measuring” the real experiences of the patients and, thus, accelerating the progress of advances in the development of medicines, diagnosis, and treatment, through the “trilogy”: IoT, representing the “ability to enable better decisions by collecting and analyzing data from new sources; “wearable” and “big data” technology, representing the analytical part (of the data) (NANDA, KHATTAR, NANDA, 2019; BAIG, GHOLAMHOSSEINI, MOQEEM, MIRZA, LINDÉN, 2017; BALINSKI, BAZAR, NESBITT, OLSON, PATIL, PUNADIKAR, 2019).

The “Big Data” technology explores the possibility of manipulating structured data which contains a determined structure, with restrictions on possible categories and values; and unstructured, considering that these types are basically texts that diverge in their structure from one entry to another, consistent with the information that patients share with doctors, employers, insurance companies and government agencies. Considering that health systems are currently immersed in a “sea” of data regarding clinical histories and patient genetic information, the results of clinical trials, information from sensors that monitor biometric parameters, and even the various intelligent applications and solutions for digital health (FRANÇA, MONTEIRO, ARTHUR, IANO, 2021; FRANÇA, MONTEIRO, ARTHUR, IANO, 2020; PADILHA, IANO, MONTEIRO, ARTHUR, 2021).

In other words, the more sources there are, the greater the chances of generating useful information, even considering that in contrast, the computational complexity increases. Representing the Big Data differential is linked to the possibility and opportunity to cross this immense volume of information to obtain important insights. The key is that this volume of information can be analyzed and processed to generate insights and help doctors and specialists in strategic decisions, whether it be the approach to better clinical treatment or to optimize time and improve patient care. In general, with regard to data, the state of the art in artificial intelligence is applied to empower doctors in the delivery of increasingly accurate

reports (FRANÇA, MONTEIRO, ARTHUR, IANO, 2020; MARTIN-SANCHEZ, VERSPOOR, 2014; RISTEVSKI, CHEN, 2018).

Considering this huge data volume, many of these data are not structured, that is, X-ray exams, magnetic resonance exams, messages, and posts in internal healthcare management systems, among others, which cannot be managed with databases traditional data. From that, these data are generated, analyzed, and explored at a high speed of computational processing, processing that data that the IoMT sensors send in real-time and that also collect from a patient's vital signs (LEE, YOON, 2017).

From a global point of view, based on the development of an integrated database, including genomic data, clinical data or traditional electronic medical records and data from "wearable" technology, through the growing interest in Big Data related to IoMT in health, as well as serving as a basis for a more accurate understanding of the patient and his illnesses, and providing a more granular view of effective "interventions". In the same way, it is also possible to employ the use of medical data as a factor for product innovation, through the creation of customized products and solutions, generally oriented with investment in "wearable" technology. Since IoMT wearable technology for medicine includes the opportunity to measure health in order to participate more naturally in patients' life flow, providing a richer and more complete assessment of "nuances" than conventional ones that are already offered by traditional healthcare laboratories, and clinics (ESTRELA, MONTEIRO, FRANÇA, IANO, KHELASSI, RAZMJOOY, 2018; FERRER-ROCA, MÉNDEZ, 2012).

Also considering that the data collection must be equally heterogeneous, i.e., from requests for compensation to doctor's notes within the medical record, images of patient exams, messages exchanged between doctors and patients about health, as well as listing posts in the social media, and information from wearable technology and other monitoring devices. This heterogeneity makes the extraction and integration of this large amount of data generated and collected in many different formats a real challenge, stressing that the standardization of information is fundamental in order to create a large database of patients (ESTRELA, MONTEIRO, FRANÇA, IANO, KHELASSI, RAZMJOOY, 2018).

Obviously, at first, health institutions will face many problems for the implementation and development of the IoMT and the implementation of Analytics tools such as Big Data, having seen the diversity of economic and financial realities as well as the even more pronounced diversity when relating the structured hospital, and more specifically, the technological structure, wherein many of these institutions this reality does not even exist, with an evident discrepancy not only in information but also in infrastructure (LEE, YOON, 2017).

## 5 I ASPECTS OF DIGITAL SECURITY AND PRIVACY AT IOMT

In digital health, IoMT applications and devices for monitoring personal activities, electronic medical records, exams, and online reports sent remotely, and digital files provided by healthcare institutions, such as clinics, work wards, among many others. Considering that is collected what is generated and that can be captured in the health area as the patient's personal data (individual identification document, gender, name, date of birth, affiliation, place of residence), clinical data (risk habits, diagnoses, medications are taken, vaccinations, allergies), exam data (imaging exams, electrocardiogram exams (ECG), Electroencephalogram exams (EEG), blood exams, oximetry exams, spirometry exams among many others), and even considering data from medical procedures (hospitalizations, interventions received, surgeries, ICU stay times, among others) (FRANÇA, MONTEIRO, ARTHUR, IANO, 2021).

In this sense, it is necessary and important the attention to and adequacy of internal processes and cultures in order to guarantee the digital security of patient data against the sharing of information without consent. Preventing the proliferation of a type of personal data market for commercial purposes without the patient's authorization, such as the sale of personal information initially collected for other purposes to other companies (TAITSMAN, GRIMM, AGRAWAL, 2013; ABOUELMEHDI, BENI-HSSANE, KHALOUFI, SAADI, 2017).

It is essential to aim to increase the security of confidential information, treating more rigorously the data passed between the systems of the health institutions themselves, between clinics and hospitals, laboratories or health operators, valid for every information transaction, not necessarily only for the electronic part, that is, data recorded on paper, for example, also need authorization. In addition to needing to be authorized by patients, sharing of this information must be done if the messages are encrypted, that is, encrypted (ABOUELMEHDI, BENI-HSSANE, KHALOUFI, SAADI, 2017).

This should be applied to a wide range of situations, such as telemedicine, health service charges, information exchange between different healthcare institutions, such as requests for laboratory tests, messages exchanged between doctors and patients, or even mailboxes with messages. Persistent drugs must also be protected, as it contains patient identification, among others. Or even employ digital measures in which patients' personal data, as well as all information transmissions in the system, must be encrypted and, after fulfilling the objective; must be erased. Considering the clarification that, in principle, the sending of information regarding billing will not need consent, but if there is more detailed clinical data, such as a medical report, there is absolute clarity about the patient, there is also a need for encryption of this document (GARG, BREWER, 2011; MAKRIS, ARGIRIOU, STRINTZIS, 1997).

In this sense of digital security, when adding any IoMT device to the network, it is

necessary to be aware of the cybersecurity risks and measures necessary to ensure that the devices do not impair security. Starting one of the first steps to keep the healthcare environment digitally safe is to know which devices are connected to IoMT (updated inventory of connected devices), their locations, the type of data it generates, what it controls, and the networks it use to connect to communicate, including from sensors for medical equipment to devices and tablets used by employees (BAKER, XIANG, ATKINSON, 2017; HASSANIEN, DEY, BORRA, 2018).

Considering that for a digital security plan it is necessary to consider everything as basic as the definition of effective passwords, which is one of the best ways to prevent cyber attacks until having a broad view of all devices connected to the IoMT that share information, as well as the type of information transmitted, which may be different. Noting that not all devices have the same security measures and some devices are designed to be safer than others. These measures have an extremely important technological profile for the creation of a strong healthcare digital security system, as well as to ensure that everything is protected and all IoMT devices are updated with the latest security measures and protections (TAITSMAN, GRIMM, AGRAWAL, 2013; MANOGARAN, CHILAMKURTI, HSU, 2018).

Or the use of digital solutions such as the use of encryption, even for data collected and stored in the database of the internal network of the health institution. Or even considering that IoMT devices often depend on Cloud Computing services, it is necessary to know the requirements of the digital privacy policy of the cloud provider partner of the health institution and make sure that the encryption and protection features are offered necessary data. Or with respect to monitoring the external traffic of these IoMT devices, or even applying SSL certified (Secure Sockets Layer) devices consisting of a global standard security technology allowing encrypted communication between an Internet service (IoMT) and a web server, produced in the manufacturing process or added later to ensure the identity of the IoMT device and facilitate the digital authentication process (THAKUR, SINGH, GHRERA, ELHOSENY, 2019; DE SÁ, IANO, DE OLIVEIRA, PAJUELO, MONTEIRO, FRANÇA, 2019).

## 6 I DISCUSSION

The Internet of Medical Things (IoMT), represents the introduction of new applications of digital technology that promises to trigger the adoption and spread of precision medicine, representing a medical model that proposes the personalization of health care, with decisions, treatments, practices, medical tools or products for the benefit of the patient. These applications are demonstrating the difference made by the sensors and actuators that constitute the endpoints of the network, which allow to collect data and act on the data through analyzes, performing quite complex functions without human intervention. This also includes monitoring patients' health indicators and initiating corrective actions when these

indicators get out of control, representing not only saving a lot of effort on the part of doctors but most importantly, helping to care for and save lives in units emergency and intensive care.

The concept of IoMT over the years begins to materialize, referring to the adaptation and innovation of medical treatment to the individual characteristics of each patient. This does not literally mean the creation of medical devices exclusive to the patient, but the ability to classify, connect, generate data for analysis and integrate, patients in their susceptibility to a specific disease or condition, in the biology or in the prognosis of diseases that these patients may develop, or even in response to a specific treatment.

Preventive or therapeutic interventions through the intelligent analysis of data collected by IoMT devices can then be concentrated and administered in an assertive manner, saving costs and side effects for those who manage the criticality of patients. As also related that Artificial Intelligence (AI) represents a paradigm shift towards medicine, through machine learning algorithms used to analyze and extract inferences from the vast amounts of data collected by these IoMT devices from patients and healthcare institutions recorded at every moment, resulting in improving the quality of patient care, enabling cost-effectiveness and reducing readmission rates and even mortality rates.

With the advancement of technology, the speed of information, and connectivity, it became even more evident the need for transformation in the health sector, overcoming traditional processes, even effectively breaking paradigms in new solutions, cultures, work formats, and tools. Whereas IoMTA has been transforming communication, mobility, data analysis, negotiation, and health, in addition to people management itself. Alongside the algorithms and machines, fed by the collected data, AI is able to simulate the human ability to reason, make decisions and solve problems, analyzing that this increases the productivity and agility of a job or activity, relating the greatest current advances within this digital intelligence it happens in the perception and cognition of systems.

When it comes to IoMT, the “object” is always related to health, producing a constant flow of health data generated by the patient, such as a wheelchair, a heart rate monitor, or any other wearable health device, so these data can be used to assess the patient’s physical condition.

On a broader scale, data collection from treatment groups can also be used to support clinical studies and other advances, or even considering chronic diseases and data from ‘wearable’ sensors (IoMT) relating to the treatment of diseases such as diabetes type 2, obesity, hypertension, and smoking, among others. Since is considered that the management of these types of chronic diseases depends on significant changes in the patients’ lifestyle, such as exercise and diet, which occur outside of clinical control. Considering that these and other chronic diseases can also benefit from the use of this data collected by IoMT devices through monitoring the quality of life of patients using wearable

data as a way to obtain an accurate assessment of a patient's activity level, which is often a marker of your health.

Or even relating the level of digitization through innovations in healthcare units, such as IoMT devices and applications at the head of the hospital bed, decreasing the interaction with infected patients, which is very fundamental in times of pandemic such as COVID-19, which increases the team protection. Given the ability that IoMT technology provides to allow patient data to be remotely evaluated, reducing the obligation and duration of hospital consultations, or even with remote consultations in offices, remote diagnosis, and monitoring, significantly reducing the exposure of the most vulnerable members of society (such as the elderly and individuals with chronic illnesses) in a situation like the current pandemic of COVID-19.

Thus, it is possible to highlight the applicability of collecting medical data from patients through IoMT devices, whether through various types of sensors spread by the health institution or wearables, making the technology allow doctors and health professionals to be more assertive in their own health care for patients.

## 7 | TRENDS

Machine Learning (ML) is a technology composed of a set of mathematical tools, used to analyze data, with different techniques to evaluate and discover patterns in the information, search for answers to problems or find new solutions stored in the collected data volumes. It is important to note that the ML, especially aimed at exam analysis, increases the capacity of doctors, and does not replace the expertise of the human professional and his diagnostic capacity (which takes into account the overall assessment of the patient). This type of intelligent technology helps in the identification of patterns, and thus, doctors gain more time to dedicate themselves to each patient and will certainly be able to provide a more humanized and personalized service (FRANÇA, MONTEIRO, ARTHUR, IANO, 2021; FRANÇA, MONTEIRO, ARTHU, IANO, 2020; BEAM, KOHANE, 2018).

With ML it is possible to overcome adversities in the health area since many of them can be modeled as classic problems oriented on supervised learning and unsupervised learning. Classification is a supervised learning approach considering a pattern recognition problem from examples, since in medicine, for example, it is possible to use this from a large volume of chest X-ray exam data with and without collapses, allowing the algorithm to 'learn' the patterns of collapsed lungs and rely on them to classify new X-ray images. Clustering is an unsupervised learning approach related to a task that essentially consists of gathering more similar data for identifying groups. Whereas in medicine, for example, the creation of patient clusters based on their eating habits can reveal different groups and which diseases their members are developing (WORDEN, MANSON, 2007).

Blockchain technology has the potential to provide a reduction in the risk of compromising IoMT devices through a switch and improve the scalability of IoMT implementations. At first, Blockchain would allow the protection of IoMT networks in several ways, such as the formation of consensus groups on suspicious behavior, functioning in which each deletion or modification of data is recorded, even considering that as more blocks are placed, an even bigger chain of blocks is created. With IoT and blockchain working together, it is possible to achieve a verifiable and secure method for devices and processes associated with IoMT, since each transaction made is accompanied by a digital signature and can never be changed or deleted. Also highlights the decentralized nature of the technology, preventing a vulnerable device from "inserting or manipulating" false information (DE SÁ, IANO, DE OLIVEIRA, PAJUELO, MONTEIRO, FRANÇA, 2019; ANGRAAL, KRUMHOLZ, SCHULZ, 2017).

Digital transactions carried out on Blockchain by various sources can be managed through an immutable and transparent record, helping to reduce operating costs, since it eliminates intermediaries or intermediaries, given that data and physical goods are tracked across the supply chain. In the case of an erroneous decision or system overload, the blockchain registry must be able to identify the point at which something went wrong (ANGRAAL, KRUMHOLZ, SCHULZ, 2017).

## 8 | CONCLUSIONS

It is important to note that the absence of systems aggregating IoMT technology implanted in healthcare facilities reflects the novelty of the technology and also the significant existence of healthcare problems, also considering some of the real challenges dealt with by these new technologies. Even considering that despite the existence of technological problems, such as the effects of electromagnetic radiation and problems with the level of digital signal quality in hospitals, within hospitals, which may interfere with the transmission of collected data.

Still considering that any healthcare system must be digitally safe, considering the example of a particular hospital, it can implement a real-time tracking system employing barcode IoMT devices, Bluetooth transmitters, beacon systems, and code tags of bars on patients, nurses, and supplies, with properties to track workflows ("workflow"), analyzing that this quality should be incorporated into any specifications in this domain, considering a set of real implementation of IoT health systems addressing cybersecurity, digital privacy, and trust.

Another point that should be of great interest due to its complexity and importance is information security at IoMT, considering the large generation of confidential data about patients, consisting of great interest and attention from cybercriminals, a factor that increases

the number of cyberattacks in search of this information.

Still pondering the potential of IoMT to transform the shape of social and digital relationships, and even business, through data capture, as more and more billions of devices will be connected to the Internet and even the power of this digital ability to create your own data stream. Emphasizing that the idea of the ("basic") manual for capturing data from any type of transaction tends to be replaced, and the dynamics, ingestion in real-time and the application of information will dominate the future scenario.

However, about a large number of hospital and clinical environments have access to the internet via wired or Wi-Fi connection, consisting as one of the main challenges to be overcome in terms of the insertion of greater means of connectivity, even though despite the IoMT being in full growth, with the use still considered initial, the question of connectivity is essential since this allows IoMT devices to communicate, and increase the number of smart devices. Given the potential of IoMT to become a model in the effective use of technology (and innovation) both with regard to connected devices monitoring patients and disruptive immersion for the healthcare industry as existing and emerging technologies will enable the provision of healthcare services faster and more efficient patient care.

Thus, from the goal of saving lives to the management of medical records, powered by IoMT through the possibility of exploiting the computational power of smartphones, social networks, electronic medical devices, and data generation wearables. Considering that it is through sensors and other IoMT devices or even IoMT wearables, to really find the best treatments and cures for diseases, the data captured from patients by these IoMT technologies has to reach beyond a single patient, and become part of an aggregate, allowing medical researchers to access and analyze this medical data obtained.

## ACKNOWLEDGMENTS

We thank the State University of Campinas – UNICAMP, Campinas, Brazil, and the Brazilian agencies CAPES and CNPq, which provided infrastructure and financial support to this research and publication.

## REFERENCES

ADRYAN, B., OBERMAIER, D., & FREMANTLE, P. (2017). **The Technical Foundations of IoT.** Artech House.

BAKER, S. B., XIANG, W., & ATKINSON, I. (2017). **Internet of things for smart healthcare: Technologies, challenges, and opportunities**. IEEE Access, 5, 26521-26544

ALJEHANI, S. S., **Alhazmi**, R. A., **Aloufi**, S. S., **Aljehani**, B. D., & Abdulrahman, R. (2018, April). **iCare: Applying IoT Technology for Monitoring Alzheimer's Patients**. In 2018 1st International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS) (pp. 1-6). IEEE

ADENIYI, E. A., **Ogundokun**, R. O., & **Awotunde**, J. B. (2021). **IoMT-Based Wearable Body Sensors Network Healthcare Monitoring System**. In IoT in Healthcare and Ambient Assisted Living (pp. 103-121). Springer, Singapore.

ASHWINI, N., & **Vimala**, S. **A Survey on Autonomous RC Hospital Smart Bed for Accident Patients Using IoT.**

ALSUBAEI, F., **Abuhussein**, A., **Shandilya**, V., & **Shiva**, S. (2019). **IoMT-SAF: Internet of medical things security assessment framework**. Internet of Things, 8, 100123.

ALEXANDRE, R., & **Postolache**, O. (2018, September). **Wearable and IoT technologies application for physical rehabilitation.** In 2018 International Symposium in Sensing and Instrumentation in IoT Era (ISSI) (pp. 1-6). IEEE.

ABOUELMEHDI, K., **Beni-Hssane,** A., **Khaloufi**, H., & **Saadi**, M. (2017). **Big data security and privacy in healthcare: A Review**. Procedia Computer Science, 113, 73-80.

ANGRAAL, S., **Krumholz**, H. M., & **Schulz**, W. L. (2017). Blockchain **technology: applications in health care.** Circulation: Cardiovascular quality and outcomes, 10(9), e003800.

BALINSKI, P. A., **Bazar**, S., **Nesbitt**, P. A., **Olson**, J. T., **Patil**, S. R., & **Punadikar**, S. C. (2019). U.**S. Patent No. 10,226,632**. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

BAIG, M. M., **GholamHosseini**, H., **Moqeem**, A. A., **Mirza**, F., & **Lindén**, M. (2017). **A systematic review of wearable patient monitoring systems–current challenges and opportunities for clinical adoption**. Journal of medical systems, 41(7), 115.

BEAM, A. L., & **Kohane**, I. S. (2018). **Big data and machine learning in health care.** Jama, 319(13), 1317-1318.

CHEN, L. G., **Ho**, Y. L., **Liu**, T. T., & **Lu**, S. S. (2017). **Internet of Medical Things: The Next PC (Personal Care) Era.** In Smart Sensors and Systems (pp. 265-333). Springer, Cham.

DE SÁ, L. A. R., Iano, Y., de **Oliveira**, G. G., **Pajuelo**, D., **Monteiro**, A. C. B., & **França**, R. P. (2019, October). **An Insight into Applications of Internet of Things Security from a Blockchain Perspective**. In Brazilian Technology Symposium (pp. 143-152). Springer, Cham.

DIN, I. U., **Almogren**, A., **Guizani**, M., & **Zuair**, M. (2019). **A decade of Internet of Things: Analysis in the light of healthcare applications**. IEEE Access, 7, 89967-89979.

DORSEY, E. R., MCCONNELL, M. V., SHAW, S. Y., TRISTER, A. D., & FRIEND, S. H. (2017). **The use of smartphones for health research**. Academic Medicine, 92(2), 157-160.

ESTRELA, V. V., **Monteiro**, A. C. B., **França**, R. P., **Iano**, Y., **Khelassi**, A., & **Razmjooy**, N. (2018). **Health 4.0: Applications, management, technologies and review**. Medical Technologies Journal, 2(4), 262-276.

FRANÇA, R. P., **Monteiro**, A. C. B., **Arthur**, R., & **Iano**, Y. (2020). **The evolution of robotic systems.** Safety, Security, and Reliability of Robotic Systems: Algorithms, Applications, and Technologies, 1.,

FRANÇA, R. P., MONTEIRO, A. C. B., ARTHUR, R., & IANO, Y. (2020). **An Overview of the Integration between Cloud Computing and Internet of Things (IoT)** Technologies. Recent Advances in Security, Privacy, and Trust for Internet of Things (IoT) and Cyber-Physical Systems (CPS), 1.

FRANÇA, R. P., **Monteiro**, A. C. B., Arthur, R., & Iano, Y. (2021). **An Overview of the Machine Learning Applied in Smart Cities. Smart Cities**: A Data Analytics Perspective, 91-111.

FRANÇA, R. P., MONTEIRO, A. C. B., ARTHUR, R., & IANO, Y. (2020). An **Overview of Internet of Things Technology Applied on Precision Agriculture Concept.** Precision Agriculture Technologies for Food Security and Sustainability, 47-70.

FRANÇA, R. P., **Monteiro**, A. C. B., **Arthur**, R., & **Iano**, Y. (2021). **The Fundamentals and Potential for Cybersecurity of Big Data in the Modern World**. In Machine Intelligence and Big Data Analytics for Cybersecurity Applications (pp. 51-73). Springer, Cham.

FRANÇA, R. P., **Monteiro**, A. C. B., **Arthur**, R., & **Iano**, Y. **An Overview of Narrowband Internet of Things (NB-IoT) in the Modern Era**. Principles and Applications of Narrowband Internet of Things (NBIoT), 26-45.

FRANÇA, R. P., **Monteiro**, A. C. B., **Arthur**, R., & **Iano**, Y. (2020). 9 **An Overview of the Internet of Things Technologies Focusing on Disaster Response**. Big Data Analytics in Supply Chain Management: Theory and Applications, 151.

FERRER-ROCA, O., & **Méndez**, D. G. (2012). **Health 4.0 in the i2i Era.** International Journal of Reliable and Quality E-Healthcare (IJRQEH), 1(1), 43-57.

FARAHANI, B., **Firouzi**, F., & **Chakrabarty**, K. (2020). **Healthcare IoT.** In Intelligent Internet of Things (pp. 515-545). Springer, Cham.

FUKUDA, K. (2020). **Science, technology and innovation ecosystem transformation toward society 5.0.** International Journal of Production Economics, 220, 107460.

GARG, V., & **Brewer**, J. (2011). **Telemedicine security: a systematic review**. Journal of diabetes science and technology, 5(3), 768-777.

HASSANIEN, A. E., DEY, N., & BORRA, S. (Eds.). (2018). **Medical Big Data and internet of medical things: Advances, challenges and applications**. CRC Press.

HUREIB, E. S., & **Gutub**, A. A. (2020). **Enhancing medical data security via combining elliptic curve cryptography and image steganography**. Int. J. Comput. Sci. Netw. Secur.(IJCSNS), 20(8), 1-8.

KSHIRSAGAR, P., **Pote**, A., **Paliwal**, K. K., **Hendre**, V., **Chippalkatti**, P., & **Dhabekar**, N. (2020). **A Review on IOT Based Health Care Monitoring System**. In ICCCE 2019 (pp. 95-100). Springer, Singapore.

LEE, C. H., & **Yoon**, H. J. (2017). **Medical big data: promise and challenges**. Kidney research and clinical practice, 36(1), 3.

LUNA-DELRISCO, M., **Palacio**, M. G., **Orozco**, C. A. A., **Moncada**, S. V., **Palacio**, L. G., **Montealegre**, J. J. Q., & **Diaz-Forero**, I. (2018, June). **Adoption of Internet of Medical Things (IoMT) as an opportunity for improving public health in Latin America**. In 2018 13th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI) (pp. 1-5). IEEE.

MARTIN-SANCHEZ, F., & **Verspoor**, K. (2014). **Big data in medicine is driving big changes**. Yearbook of medical informatics, 9(1), 14.

MAKRIS, L., **Argiriou**, N., & **Strintzis**, M. G. (1997). **Network and data security design for telemedicine applications. Medical Informatics**, 22(2), 133-142.

MANOGARAN, G., **Chilamkurti**, N., & **Hsu**, C. H. (2018). **Emerging trends, issues, and challenges in Internet of Medical Things and wireless networks**. Personal and Ubiquitous Computing, 22(5-6), 879-882.

NANDA, S., **Khattar**, K., & **Nanda**, S. (2019, February). **Internet of Things Based Remote Wearable Health Solutions: Prospects and Area of Research**. In Proceedings of International Conference on Sustainable Computing in Science, Technology and Management (SUSCOM), Amity University Rajasthan, Jaipur-India.

NDIAYE, M., **Oyewobi**, S. S., **Abu-Mahfouz**, A. M., **Hancke**, G. P., **Kurien**, A. M., & **Djouani**, K. (2020). **IoT in the wake of COVID-19: A survey on contributions, challenges and evolution**. IEEE Access, 8, 186821-186839.

PARK, K. S., & **Choi**, S. H. (2019). **Smart technologies toward sleep monitoring at home**. Biomedical engineering letters, 9(1), 73-85.

PADILHA, R., **Iano**, Y., **Monteiro**, A. C. B., & **Arthur**, R. (2021). **An AWGN Channel Data Transmission Proposal Using Discrete Events for Cloud and Big Data Environments Using Metaheuristic Fundamentals**. In Metaheuristics and Optimization in Computer and Electrical Engineering (pp. 293-311). Springer, Cham.

SHABAN-NEJAD, A., **Michalowski**, M., & **Buckeridge**, D. L. (2018). **Health intelligence: how artificial intelligence transforms population and personalized health**

QURESHI, F., & **Krishnan**, S. (2018). **Wearable hardware design for the internet**

RISTEVSKI, B., & **Chen**, M. (2018). **Big data analytics in medicine and healthcare**. Journal of integrative bioinformatics, 15(3)

RODRIGUEZ-RODRIGUEZ, I., **Rodríguez**, J. V., **Elizondo-Moreno**, A., **Heras-González**, P., & **Gentili**, M. (2020). Towards a Holistic ICT Platform for Protecting Intimate Partner Violence Survivors Based on the IoT Paradigm. Symmetry, 12(1), 37.

SAHEB, T., & **Izadi**, L. (2019). **Paradigm of IoT big data analytics in the healthcare industry: A review of scientific literature and mapping of research trends.** Telematics and Informatics, 41, 70-85.

SHEHABAT, I. M., & AL-HUSSEIN, N. (2018). **Deploying internet of things in healthcare: Benefits, requirements, challenges and applications**. Journal of Communications, 13(10), 574-580.

SHIN, D., & HWANG, Y. (2017). **Integrated acceptance and sustainability evaluation of Internet of Medical Things**. Internet Research.

SINGH, R. P., **Javaid**, M., **Haleem**, A., & **Suman**, R. (2020). **Internet of things (IoT) applications to fight against COVID-19 pandemic**. Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews.

TAITSMAN, J. K., **Grimm**, C. M., & **Agrawal**, S. (2013). **Protecting patient privacy and data security.** New England Journal of Medicine, 368(11), 977-979.

THAKUR, S., **Singh**, A. K., **Ghrera**, S. P., & Elhoseny, M. (2019). **Multi-layer security of medical data through watermarking and chaotic encryption for tele-health applications**. Multimedia tools and Applications, 78(3), 3457-3470.

TARDIEU, H., DALY, D., ESTEBAN-LAUZÁN, J., HALL, J., & MILLER, G. (2020). **Case Study 2: The Digital Transformation of Health Care**. In Deliberately Digital (pp. 237-244). Springer, Cham.

THUEMMLER, C., & **Bai**, C. (Eds.). (2017). **Health 4.0: How virtualization and big data are revolutionizing healthcare**. New York: Springer.

YACCHIREMA, D. C., **Sarabia-Jácome**, D., **Palau**, C. E., & **Esteve**, M. (2018). **A smart system for sleep monitoring by integrating IoT with big data analytics**. IEEE Access, 6, 35988-36001.

ZAMANIFAR, A. (2020). **Data analytics in IOT-based health care**. In Data Analytics in Biomedical Engineering and Healthcare (pp. 119-130). Academic Press.

ZHANG, J., & **Wu**, M. (2020). **Blockchain Use in IoT for Privacy-Preserving Anti-Pandemic Home Quarantine**. Electronics, 9(10), 1746.

WORDEN, K., & **Manson**, G. (2007). **The application of machine learning to structural health monitoring**. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 365(1851), 515-537.

# CAPÍTULO 2

# PRODUÇÃO E APLICAÇÕES DO PÓ DA CASCA DE ROMÃ EM COSMÉTICOS

**Teresa de Jesus Estevam Pereira**
Universidade São Francisco, Curso de Farmácia, Campinas, São Paulo
http://lattes.cnpq.br/7710463354155892

**Vanessa Cristine de Marco Matos dos Santos**
Universidade São Francisco, Curso de Farmácia, Campinas, São Paulo
http://lattes.cnpq.br/2890224839382901

**Iara Lúcia Tescarollo**
Universidade São Francisco, Curso de Farmácia, Campinas, São Paulo
Grupo de Pesquisa em Meio Ambiente e Sustentabilidade
http://lattes.cnpq.br/7236475214443844

**RESUMO:** O uso de insumos vegetais em cosméticos tem crescido muito nos últimos anos, impulsionado tanto pelos avanços na investigação científica, como também pelos reais benefícios comparados a alguns produtos sintéticos. A casca de romã é um subproduto da indústria de suco e seu processamento para uso em cosméticos esfoliantes pode ser uma alternativa viável em substituição às microesferas de plástico. O objetivo do presente trabalho se constituiu em desenvolver géis esfoliantes formulados com pó de casca de romã, selecionar as melhores formulações, avaliar a estabilidade dos produtos obtidos e testar a aceitabilidade entre consumidores. Análise sensorial foi realizada usando escala hedônica. Foi possível formular géis esfoliantes com pó de casca de romã com boas características sensoriais e qualidade físico-química e microbiológica.
**PALAVRAS-CHAVE**: Cosméticos. Produtos para higiene pessoal.

**ABSTRACT:** The use of plants in cosmetics has grown a lot in recent years, driven by scientific advances and real benefits compared to some synthetic products. Pomegranate peel is a residue of the juice industry and its processing for use in exfoliating cosmetics can be a viable alternative to replace plastic microspheres. The objective of the present work was to develop exfoliating gels formulated with pomegranate peel powder, select the best formulations, evaluate the stability of the products obtained and test the acceptability among consumers. Sensory analysis was performed using a hedonic scale. It was possible to formulate exfoliating gels with pomegranate peel powder with good sensory characteristics and physical-chemical and microbiological quality
**KEYWORDS:** Cosmetics. Personal care.

## 1 I INTRODUÇÃO

Muitos subprodutos de origem vegetal como sementes e cascas geradas como descarte no processamento de frutas pela indústria alimentícia, apresentam potencial de uso nas indústrias farmacêuticas e cosméticas devido suas propriedades funcionais e texturais. No entanto, pouca atenção tem sido dada ao estudo da aplicabilidade desses insumos na área da saúde, beleza e bem-estar. O uso de

insumos de origem vegetal em cosméticos tem apresentado crescente aceitação, não só pelo apelo baseado em avanços na investigação científica, como também pelos reais benefícios em relação à alguns produtos sintéticos (DALLARMI *et al*., 2012). Por outro lado, a sociedade atual vem optando pela adoção de tecnologias de produção econômicas, ecologicamente corretas, seguras e confiáveis que por sua vez exigem grande esforço por parte dos pesquisadores na busca de substâncias e compostos naturais acessíveis (ARAÚJO *et al*., 2010; BORGES *et al*., 2013).

A romã é o fruto da romãzeira *Punica Granatum L*. (*P. granatum*), um arbusto lenhoso, ramificado, da família *Punicaceae*, originária da região entre o Irã e o Himalaia, a noroeste da Índia (WERKMAN *et al*., 2008; SHAYGANNIA, 2016). É reconhecida pelo seu uso tradicional e pelo elevado potencial antioxidante devido a presença de compostos fenólicos os quais são responsáveis pela prevenção de doenças (LANGLEY, 2000; WERMAN *et al*., 2008; LANTZOURAKI *et al*., 2016). A punicalagina, um tanino elágico provindo do fruto da romãzeira, é um dos seus mais importantes constituintes (MACHADO *et al*., 2003; WERKMAN *et al.,* 2008). O óleo presente nas sementes de romã contém elevada atividade antioxidante possuindo alto teor de ácidos graxos poli-insaturados como linolênico, linoleico e demais lipídeos como ácidos palmítico, oleico, esteárico e punícico (OZGUL-YUCEL, 2005; FADAVI *et al*., 2006).

Na casca do caule e dos frutos, são encontrados em grandes proporções compostos fenólicos, como antocianinas e taninos, também presentes em menor quantidade nas folhas. Especificamente a casca da romã, considerada um subproduto do suco que muitas vezes é desprezada ao uso, compreende cerca de 30 a 40% da fruta. Os compostos fenólicos concentram-se principalmente na casca da fruta, destacando os flavonoides (antocianinas como a pelargonidina, delfinidina, cianidina juntamente com seus derivados e antoxantinas como catequina, epicatequina e quercetina), taninos (elagitaninos e derivados do ácido elágico como punicalagina, punicalina e peduncalagina) e ácidos fenólicos (como o ácido clorogênico, caféico, p-cumarínico, ferúlico, elágico, gálico, cinâmico, dentre outros) (LANTZOURAKI *et al*., 2016; SINGH *et al.,* 2018).

O uso de *Punica Granatum L.* é promissor do ponto de vista tecnológico, contudo ainda pouco explorado em território brasileiro e o grande número de patentes relacionadas da romã é inerente à propriedade antioxidante da espécie (COELHO *et al*., 2017). Além da ação antioxidante, efeitos anti-inflamatórios, antimicrobianos e estimulantes na síntese de colágeno também despertam grande interesse em torno do desenvolvimento de produtos à base de romã (LANTZOURAKI *et al*., 2015).

Há de se considerar que o aproveitamento de sementes e cascas geradas como descarte no processamento de frutas pela indústria alimentícia pode ser favorável para minimizar os impactos ambientais associados à industrialização de frutas. Nas indústrias brasileiras, as frutas são empregadas basicamente na produção de sucos e o bagaço

gerado no processamento é destinado a aplicações como adubo (OLIVEIRA, 2018). A utilização de resíduos de origem vegetal como ingredientes em formulações cosméticas também pode ser identificada no trabalho de Souza (2010) que empregou sementes e extratos do bagaço da uva no desenvolvimento e estudo de estabilidade de cremes e géis; Cordeiro (2013) que utilizou caroço da azeitona para produção de sabonete esfoliante; e Oliveira (2018) que empregou resíduos industriais do processamento de polpa de frutas na formulação de cosmético esfoliante.

A utilização das cascas de romã para obtenção de insumos de alto valor agregado traria grande benefício em favor da preservação do meio ambiente aumentando a aplicabilidade desse tipo de ingrediente em cosméticos esfoliantes. A esfoliação na pele é um processo que auxilia na renovação celular, e consiste em remover as células queratinosas, sem vitalidade e com baixo teor hídrico que se encontram na superfície da epiderme, mais especificamente no estrato córneo. A retirada desta camada, elimina as impurezas e facilita a permeação de ativos, permite ainda que a pele se mantenha com seu aspecto natural, favorecendo assim sua uniformidade e estrutura, obtendo como resultado uma melhor aparência (RIBEIRO,2010; CAREGNATTO; GARCIA, FRANÇA, 2011).

As microesferas de plástico se configuram nos esfoliantes físicos mais utilizados em produtos de higiene pessoal. São produzidas a partir de polietileno (PE), mas também podem conter polipropileno (PP), polietileno tereftalato (PET), polimetilmetacrilato (PMMA) e *nylon*. De acordo com a Lohse-Hanson e colaboradores (2014) as microesferas são potencialmente poluentes e podem chegar à natureza através do enxágue de cosméticos que contenham estes materiais como os esfoliantes corporais, dentifrícios, sabonetes esfoliantes, entre outros. As microesferas podem permanecer no meio ambiente por séculos e, uma das preocupações, é a ingestão destes materiais por peixes, comprometendo a cadeia alimentar. Além disso, uma vez desprezadas no meio ambiente, não são conhecidos métodos para retirar esses plásticos das águas, levando ao crescente acúmulo dessas substâncias na natureza (MOORE, 2008). Existem alternativas biodegradáveis e naturais para a produção de esfoliantes, em destaque as argilas, sílica, semente de *apricot*, arroz, microesferas de jojoba, entre outros, estes também reconhecidos como esfoliantes mecânicos (CAREGNATTO, GARCIA, FRANÇA, 2011).

De acordo com o grau de risco, os esfoliantes físicos são caracterizados como produtos cosméticos de Grau 1, ou seja, são aqueles que possuem propriedades básicas, as quais não precisam ser comprovadas inicialmente e não requerem informações detalhadas quanto ao seu modo de usar e suas restrições de uso (BRASIL, 2015). Este trabalho teve como objetivo principal avaliar a aplicabilidade do aproveitamento do pó de cascas de romã em produto cosmético caracterizado como esfoliante corporal, seguida da avaliação físico-química, microbiológica, estudo preditivo da estabilidade das formulações testadas e aceitabilidade sensorial do produto final.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Obtenção das cascas de Romã

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Controle de Qualidade da Universidade São Francisco – Campinas/SP. Foram utilizadas cascas de romã oriundas de frutos fisiologicamente maduros, adquiridos no comércio local, Campinas/SP. Os frutos foram pesados, cortados no sentido longitudinal e despolpados, as cascas foram separadas, pesadas e sanitizadas com água clorada por 1 hora e a seguir desidratadas, micronizadas em moinho de *Willey*, passadas em tamis nº 8 (abertura de malha 2.38 mm) com o objetivo de uniformizar o tamanho das partículas. O procedimento foi adaptado da proposta de Silva e colaboradores (2015). O rendimento do processo foi calculado. Após a obtenção do insumo, o mesmo foi utilizado na preparação de géis esfoliantes.



Figura 1. (a) Fruto; (b) corte longitudinal dos frutos; (c) Separação das cascas e sementes; (d) cascas desidratadas micronizadas; (e) padronização do tamanho das partículas; (f) preparo dos produtos.

Fonte: Próprio autor.

### 2.2 Técnica de produção dos géis

Os géis foram produzidos a partir de diferentes polímeros seguindo a técnica de preparo descrita em Ferreira e Brandão (2008) e logo a seguir foi incorporado o pó de cascas de romã. Após essa etapa, as amostras foram submetidas aos testes preliminares de estabilidade que tem como objetivo auxiliar e orientar a escolha das formulações

(BRASIL, 2004; BRASIL, 2007).

As preparações foram avaliadas quanto as propriedades organolépticas, teste de estabilidade, espalhabilidade e pH. A Tabela 1 apresenta as fórmulas propostas para a obtenção dos géis esfoliantes. Todos os componentes foram especificados por suas denominações INCI (*Internacional Nomenclature of Cosmetic Ingredients*) e as quantidades de cada um expressas percentualmente (p/p) através do sistema métrico decimal (BRASIL, 2015).

| **COMPONENTES *INCI*** | **F1 (%)** | **F2 (%)** | **F3 (%)** | **Função** |
|---|---|---|---|---|
| Cascas micronizadas de romã | 2,00 | 2,00 | 2,00 | Esfoliante mecânico |
| *Hydroxyethylcellulose* | 2,00 | - | - | Agente de Viscosidade |
| *Ammonium Acryloyldimethyltaurate/VP Copolymer* | - | 3,50 | - | Agente de Viscosidade |
| *Carbomer* | - | - | 1,00 | Agente de Viscosidade |
| *Glycerine* | 5,00 | 5,00 | 5,00 | Umectante |
| *Methylparaben* | 0,15 | 0,15 | 0,15 | Conservante |
| *Disodium EDTA* | 0,25 | 0,25 | 0,25 | Sequestrante |
| *Triethanolamine* | - | - | q.s. | Corretivo de pH |
| *Alcohol* | 5,00 | 5,00 | 5,00 | Solvente |
| Essência | q.s | q.s | q.s | Fragrância |
| *Aqua q.s.p.* | 100 | 100 | 100 | Veículo |

Tabela 1. Composição, Concentrações (%) e função dos componentes nas formulações de géis esfoliantes.

Legenda: *INCI*: *International Nomenclature Cosmetics Ingredients*; q.s. quantidade suficiente; q.s.p. quantidade suficiente para. Fonte: Dados da pesquisa. Fonte: Próprio autor.

## 2.3 Análise das formulações-testes

As formulações-teste apresentando sinais de instabilidade (precipitação, turvação) e propriedades organolépticas consideradas inadequadas, segundo critérios do formulador, como aspecto, cor e odor subjetivamente desagradáveis, foram rejeitadas pelo estudo. Os testes foram adaptados segundo o Guia de Estabilidade de Produtos Cosméticos (BRASIL, 2004), Guia de Controle de Qualidade de Produtos Cosméticos (BRASIL, 2007) e literatura especializada (ISAAC *et al.*, 2012; MOUSSAVOU, DUTRA, 2012).

## 2.4 Teste preliminar da estabilidade

As amostras foram armazenadas em temperatura ambiente (25º± 2ºC) ao abrigo da luz, em câmara de estabilidade (40ºC± 2ºC) e geladeira (5ºC) e em exposição à luz natural por um período de 28 dias. Os testes foram realizados no tempo zero, sendo este considerado o tempo de 24h após o preparo do produto e durante 28 dias, com intervalos de amostragem entre esse período. Amostra armazenada em temperatura ambiente ao abrigo da luz foi tomada como referência para comparação com as demais amostras submetidas em diferentes condições de estresse.

## 2.5 Determinação do aspecto

Observou-se visualmente as características da amostra, verificando se ocorreram modificações macroscópicas em relação ao padrão estabelecido. Cerca de 2 gramas de cada amostra, foi transferida para o vidro de relógio, após prévia homogeneização, observou-se o aspecto, homogeneidade, brilho e presença de bolhas de ar. Os resultados da determinação do aspecto foram registrados de acordo com a seguinte escala: SA: normal, sem alterações; LA; levemente alterado, separado, precipitado ou turvo e TA: totalmente alterado, precipitado ou turvo.

## 2.6 Determinação da cor

Comparou-se a amostra com o padrão estabelecido, armazenado em embalagem com a mesma especificação, empregando-se luz natural. Os resultados da determinação de odor e intensidade da essência foram registrados de acordo com a seguinte escala: SM: normal, sem modificação; LM; levemente modificado; e MM: muito modificado.

## 2.7 Determinação do odor

A comparação foi realizada diretamente por meio do olfato. Cerca de 2 gramas de cada amostra foram transferidas para placa de Petri, após prévia homogeneização avaliou-se o odor. Os resultados da determinação de odor e intensidade da essência foram registrados de acordo com a seguinte escala: SM: normal, sem modificação; LM; levemente modificado; e MM: muito modificado.

## 2.8 Teste de homogeneidade por centrifugação

A força da gravidade atua sobre a amostra fazendo com que suas partículas se movam no seu interior. O teste de centrifugação produz estresse na amostra simulando um aumento na força de gravidade, aumentando a mobilidade das partículas e antecipando possíveis instabilidade (BRASIL, 2004). O teste foi realizado centrifugando-se 5g de cada amostra separadamente, a 3000 rpm por 30 minutos sob temperatura ambiente, utilizando-se centrifuga. Em seguida avaliou-se visualmente a homogeneidade, o nível de afloramento, sedimentação ou sinérese. Os resultados da determinação do aspecto foram registrados de acordo com a seguinte escala: SS: normal, sem separação; LS; levemente separado,

alterado, precipitado ou turvo e TS: totalmente separado, alterado, precipitado ou turvo.

## 2.9 Determinação da sensação tátil

Aplicou-se cerca de 2,5g do produto no dorso da mão, depois desta ter sido lavada e seca. Avaliou-se os resultados das características sensoriais de acordo com a escala: MA: muito agradável; AG: agradável; PA: pouco agradável; DE: desagradável.

## 2.10 Avaliação da espalhabilidade

O teste de espalhabilidade foi realizado empregando-se metodologia proposta por Borghetti e Knorst (2006) sendo calculada por $Ei= d^2.\pi/4$, onde Ei= espalhabilidade da amostra para o peso i em $mm^2$; d= diâmetro médio ($mm^2$), $\pi = 3,14$. Por esse método, a determinação da espalhabilidade deve ser realizada a partir da leitura dos diâmetros abrangidos pela amostra em um sistema formado por uma placa molde circular de vidro com orifício central, sobre outra placa de vidro com fundo milimetrado. A adição de pesos de 250g a 1000g, promove o espalhamento do produto que pode ser medido como extensibilidade (BORGHETTI, KNORST, 2006; ISAAC *et al.,* 2008).

## 2.11 Avaliação microbiológica

Baseou-se na contagem do número total de microrganismos mesofílicos seguindo os protocolos especificados na Farmacopeia Brasileira (2019). Com esse teste é possível determinar o número total de bactérias mesófilas e fungos em produtos não estéreis e é aplicado para determinar se o produto satisfaz às exigências microbiológicas farmacopeicas. O teste consiste na contagem da população de micro-organismos que apresentam crescimento visível, em até 5 dias, em ágar caseína-soja a 32,5°C ± 2,5°C e em até 7 dias, em ágar *Sabouraud*-dextrose a 22,5°C ± 2,5°C. As amostras foram peadas e após homogeneização, foram realizadas diluições decimais sucessivas. Após a incubação, realizou-se a contagem de colônias (UFC/g).

## 2.12 Avaliação sensorial

A avaliação sensorial foi realizada em condições padronizadas de temperatura e luminosidade, com as formulações propostas a partir de adaptações dos protocolos descritos no manual de métodos físico-químicos para análise de alimentos (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008) e com base na avaliação sensorial para fitocosméticos (ISAAC *et al.*, 2012). O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade São Francisco sob o CAAE nº. 88152018.6.0000.5514. As formulações foram aplicadas na região do antebraço dos participantes da pesquisa que forneceram informações sobre as suas percepções em relação aos atributos cor, odor, textura, aparência e avaliação global empregando escala hedônica de 9 pontos. Para avaliar as características cosméticas das amostras quanto ao toque, pegajosidade, sensação ao uso, espalhabilidade e sensação após uso, foi utilizada uma escala de intensidade de 5 (GOMES *et al.*, 2008).

Para a intenção de compra também foi utilizada uma escala de 5 pontos. A avaliação das amostras foi realizada por uma equipe composta de 30 julgadores não treinados (amostra por conveniência), sem restrição quanto ao tipo de pele e com faixa etária entre 18 anos e 40 anos, consumidores potenciais de produtos dessa natureza. Os dados foram tabulados e avaliados estatisticamente através da análise de variância (ANOVA), considerando um nível de significância de 5 % ($p<0,05$) utilizando programa *GraphPad InStat* 3.1 (2019). Os resultados também foram analisados através do Índice de Aceitabilidade (IA) e por distribuição de frequência de notas de aceitação. Para realizar o cálculo de IA foi adotada a expressão matemática segundo Dutcosky (2013) e Minim (2013), sendo IA (%) = (A x 100) / B, Onde: IA – índice de aceitabilidade do produto avaliado; A – nota média da escala hedônica; B – nota máxima possível para ao produto. Valores de IA superiores que 70% são considerados satisfatórios.

## 3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

A indústria de cosméticos e empresas podem ter um desenvolvimento sustentável partindo da premissa de que cuidar do meio ambiente é garantia de preservação dos recursos necessários para o futuro de seus negócios (GONÇALVES; HENKES, 2106). O aproveitamento de recursos naturais como sementes e cascas geradas como descarte no processamento de frutas pela indústria alimentícia pode contribuir na redução do impacto dos processos industriais no meio ambiente. Como exemplo, cascas de romã, portanto, ser transformadas em insumos para a indústria de cosméticos.

No processamento de 1.097,0kg de frutos de romã fresca foi possível obter 771,0kg de sementes e 314,0kg de cascas. Após secagem, o peso total das cascas desidratas foi de 82g o que correspondeu a 26% do total das cascas frescas e 4,5% do total dos frutos frescos. O pó das cascas foi utilizado na produção dos esfoliantes. Foram propostas três formulações à base de géis para o aproveitamento de cascas de romã desidratadas e micronizadas com ação esfoliante. Neste estudo foram utilizados o polímero derivado do ácido acrílico (*Carbopol® Ultrez*) também denominado carbômero; o copolímero sintético de ácido sulfônico acriloildimetiltaurato e vinilpirrolidona neutralizado com amônia (*Aristoflex® AVC*) e um polímero derivado da celulose denominado hidroxietilcelulose (*Natrosol®*). O sistema conservante foi composto pelo metilparabeno, a fim de se prolongar o período de estabilidade microbiológica das formulações. A glicerina foi adicionada como umectante, o EDTA dissódico como sequestrante, a trietanolamina como corretivo de pH de uma das formulações, o álcool como solvente e a água como fase aquosa para completar a preparação. Nas amostras F1, F2 e F3 foi utilizada a essência Flor de Lótus, com o objetivo de dissimular o odor da casca de romã. Esta composição conferiu ao produto uma fragrância agradável tendo como notas de cabeça lichia, gengibre, mandarina e pimenta

preta; notas de corpo frésia, jasmim e magnólia; sua fixação fica por conta do musk e âmbar, pertencendo a família olfativa floral com aroma amendoado, suave e delicado.

A fim de se obter um produto com características aceitáveis, as formulações foram armazenadas em diferentes temperaturas por 28 dias e após este período foram avaliadas em relação ao aspecto, homogeneidade por centrifugação, odor, pH e espalhabilidade. Estes testes permitem um reconhecimento primário do produto. O teste de estabilidade preliminar é considerado um procedimento preditivo, baseado em dados obtidos de produtos armazenados em condições que visam acelerar alterações possíveis de ocorrer nas condições de mercado (ISAAC *et al.*, 2008; ISAAC *et al.,* 2012). Embora todo procedimento preditivo não representa um resultado absoluto, possui uma ótima probabilidade de fornecer dados relevantes sobre o comportamento de um produto durante o seu armazenamento e utilização (BRASIL, 2004). Os resultados encontram-se na Tabela 2.

De acordo com a Tabela 2, observa-se que as formulações propostas se apresentaram homogêneas, com alterações pouco significativas no aspecto e cor diante das condições empregadas no teste, sobretudo nas amostras armazenadas em estufa (40 ± 2ºC), observou-se ligeira alteração considerada previsível para o tipo de estresse ao qual as amostras foram submetidas.

| **Temperatura/ Tempo** | **Ambiente (25° ± 5°C)** | | | | | **Estufa (40° ± 2°C)** | | | | | **Geladeira (5° ± 2°C)** | | | | | **Luz natural indireta (25° ± 5°C)** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **0** | **7** | **14** | **21** | **28** | **0** | **7** | **14** | **21** | **28** | **0** | **7** | **14** | **21** | **28** | **0** | **7** | **14** | **21** | **28** |
| **F1** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Aspecto** | SA | SA | SA | SA | LA | SA | SA | SA | LA | LA | SA | SA | SA | LA | LA | SA | SA | SA | LA | LA |
| **Cor** | SA | SA | SA | SA | LA | SA | SA | SA | LA | LA | SA | SA | SA | LA | LA | SA | SA | SA | LA | LA |
| **Odor** | SM | SM | SM | SM | LM | SM | SM | SM | LM | LM | SM | SM | SM | SM | LM | SM | SM | SM | SM | LM |
| **Avaliação tátil** | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG |
| **pH** | 4,9 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,8 | 4,4 | 4,4 | 4,8 | 4,7 | 4,7 | 4,9 | 4,6 | 4,6 | 4,5 | 4,5 | 4,8 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 |
| **Centrifugação** | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS |
| **F2** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Aspecto** | SA | SA | SA | SA | LA | SA | SA | SA | SA | LA | SA | SA | SA | SA | LA | SA | SA | SA | SA | LA |
| **Cor** | SA | SA | SA | SA | LA | SA | SA | SA | SA | LA | SA | SA | SA | SA | LA | SA | SA | SA | SA | LA |
| **Odor** | SM | SM | SM | SM | LM | SM | SM | SM | SM | LM | SM | SM | SM | SM | LM | SM | SM | SM | SM | LM |
| **Avaliação tátil** | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG |
| **pH** | 4,5 | 4,3 | 4,2 | 4,2 | 4,0 | 4,5 | 4,3 | 4,3 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4,5 | 4,3 | 4,2 | 4,2 | 4,2 |
| **Centrifugação** | SS | SS | SS | SS | SS | SS | SS | SS | SS | SS | SS | SS | SS | SS | SS | SS | SS | SS | SS | SS |
| **F3** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Aspecto** | SA | SA | SA | SA | LA | SA | SA | SA | LA | LA | SA | SA | SA | LA | LA | SA | SA | SA | LA | LA |
| **Cor** | SA | SA | SA | SA | LA | SA | SA | SA | LA | LA | SA | SA | SA | LA | LA | SA | SA | SA | LA | LA |
| **Odor** | SM | SM | SM | SM | LM | SM | SM | SM | LM | LM | SM | SM | SM | SM | LM | SM | SM | SM | SM | LM |
| **Avaliação tátil** | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG | AG |
| **pH** | 5,7 | 5,3 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,7 | 5,3 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,7 | 5,3 | 5,2 | 5,0 | 5,0 | 5,7 | 5,3 | 5,2 | 5,2 | 5,3 |
| **Centrifugação** | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS | LS |

Tabela 2. Resultados globais obtidos na avaliação das características das formulações em função do tempo e temperatura e condições de armazenamento.

Legenda: Aspecto: SA- Normas, sem alteração; LA- Levemente alterado; TA- Totalmente alterado. Cor: SM – Sem Modificação; LM- Ligeira modificação; MM – Muito Modificado. Odor: SM – Sem Modificação; LM- Ligeira modificação; MM – Muito Modificado. Avaliação tátil: MA- Muito Agradável; AG – Agradável; PA – Pouco Agradável; DE- Desagradável. Homogeneidade por centrifugação: SS – Sem Separação; LS: Levemente Separado; TS- Totalmente separado. Itens tarjados indicam alterações ocorridas. Fonte: Dados da pesquisa.

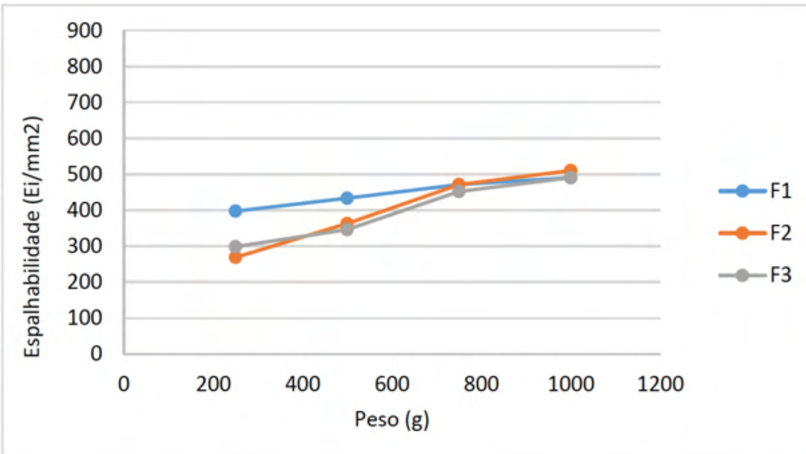
O odor foi comparado ao do padrão e foi mensurado diretamente através do olfato, um parâmetro subjetivo, mas aceito e preconizado pelo Guia de Estabilidade de Produtos Cosméticos (BRASIL, 2004). O resultado foi uma alteração na intensidade do odor mais significativa nas amostras submetidas à estufa (40 ± 2ºC), o que pode se justificar pela maior sensibilidade das formulações ao estresse térmico.

A avaliação tátil pode ser considerada subjetiva, mas é importante para a aquisição de um produto pelo consumidor, no caso das formulações propostas foi possível verificar que as mesmas mantiveram suas características durante o período de estudo. O pH ligeiramente ácido da pele é um importante fator de proteção, manutenção barreira epidérmica e processos de reparação celular. Em adultos o pH da pele é menor do que 5 (pH < 5) (DARLENSKI, FLUHR, 2017). De acordo com os dados obtidos na prática, os resultados do pH para as formulações testadas foram considerados aceitáveis.

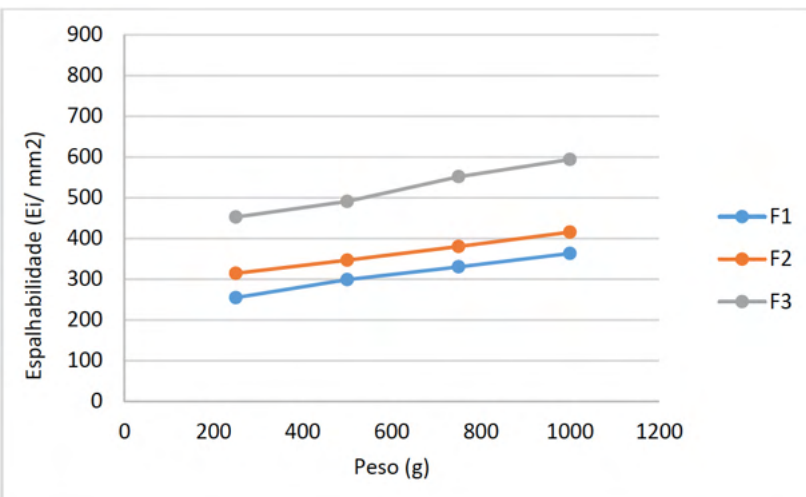
O teste de centrifugação produz estresse na amostra simulando um aumento na força de gravidade, aumentando a mobilidade das partículas e antecipando possíveis instabilidades (BRASIL, 2004). Este teste representa uma ferramenta importante na avaliação de estabilidade preliminar. De acordo com os resultados demonstrados no Quadro 1, observa-se que a amostra F2 manteve-se estável durante o estudo, sem separação de fases, nem a sedimentação das partículas da casca de romã micronizada. As amostras F1 e F3 apresentaram sedimentação de partículas durante o teste inferindo que tais formulações possam apresentar instabilidade física durante o tempo de prateleira do produto.

O teste espalhabilidade foi usado como opção para avaliar a capacidade de expansão das formulações estudadas sobre uma superfície em função do peso. As propriedades das preparações F1, F2 e F3 armazenadas sob temperatura ambiente no tempo zero e após 28 dias estão representados na Figuras 2. Os resultados revelam comportamentos

discrepantes e podem ser atribuídas às propriedades intrínsecas do tipo de polímero utilizado em cada formulação já que dependem da massa molecular, da arquitetura molecular, da expansão da cadeia polimérica, da interação entre os segmentos do polímero e as moléculas do solvente (BAJAJ, GOYAL, CHAVAN, 1995) ou ainda por influência dos componentes utilizados na elaboração dos produtos e condições de armazenamento.




(A)




(B)

Figura 2. Espalhabilidade das amostras F1, F2 e F3, acondicionadas em temperatura ambiente (25º ± 2ºC); (A) tempo zero ($T_0$) e (B) $T_{28}$.

Fonte: Próprio autor.

Outro aspecto a ser levado em consideração no desenvolvimento de produtos refere-se à estabilidade microbiológica. A presença de água e componentes orgânicos na

formulação favorece o crescimento de microrganismos. Em alguns casos, estes afetam a estrutura dos agentes conservantes influenciando na estabilidade do produto (Brasil, 2004). Neste estudo, foi realizada a contagem do número total de microrganismos mesófilos aeróbios com objetivo de determinar a qualidade microbiológica intrínseca das amostras desenvolvidas. Para cosméticos de Grau I não deve ultrapassar $10^2$ Unidades Formadoras de Colônia/grama, atingindo um limite máximo de 5 x $10^2$ UFC/g (BRASIL, 1999). Os resultados permitiram observar que não houve crescimento microbiano assegurando que os produtos foram considerados de boa qualidade.

Os componentes escolhidos para uma formulação cosmética à base de ingredientes vegetais, como no caso do uso de casca de romã micronizada, podem modificar os atributos sensoriais e também influenciar em parâmetros de espalhabilidade sobre a pele, cor, odor, sensação tátil e efeito esfoliante. Os resultados da avaliação sensorial são de suma importância e servem para inferir se o produto será bem aceito no mercado consumidor.

A Tabela 3 apresenta os resultados da análise sensorial, nos quesitos: cor, odor, aparência, textura e aceitação global. A Tabela 3 apresenta os resultados da análise sensorial, nos quesitos: toque e pegajosidade; espalhabilidade; sensação durante o uso; sensação após o uso.

| **Amostra** | **Cor** | **Odor** | **Aparência** | **Textura** | **Aceitação Global** |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Média ± DP**<br>**IA (%)** | **Média ± DP**<br>**IA (%)** | **Média ± DP**<br>**IA (%)** | **Média ± DP**<br>**IA (%)** | **Média ± DP**<br>**IA (%)** |
| **F1** | 3,030 ±1,13*<br>60,6 | 4,33±1,07*<br>88,6 | 2,43±1,14*<br>48,6 | 3,20±1,13*<br>64,0 | 2,93±1,05*<br>58,6 |
| **F2** | 4,33 ±0,71<br>86,6 | 4,43±0,90<br>88,6 | 4,30±0,70<br>86,0 | 4,20±0,85<br>84,0 | 4,10±0,93<br>82,0 |
| **F3** | 4,33 ±0,84<br>86,6 | 4,50±0,90<br>90,0 | 4,43±0,77<br>88,6 | 4,33±0,88<br>86,6 | 4,26±0,90<br>85,2 |

Tabela 3. Valores médios e desvio padrão das notas de intensidade (n=30).

DP: Desvio-padrão. *Diferença significativa entre as amostras da mesma coluna ($p< 0,05$); IA: Índice de Aceitabilidade (ideal > 70%). Fonte:Próprio autor..

Todos os resultados também foram analisados através do Índice de Aceitabilidade (IA) e por distribuição de frequência de notas de aceitação. O valor mínimo IA é considerado igual ou maior a 70%. Em relação a apreciabilidade das amostras, as fórmulas F2 e F3 demonstraram ter boas características cosméticas, com IA acima de 70% ao contrário da fórmula F1 que apresentou diferença significativa nos atributos analisados em comparação com F2 e F3. Esta diferença pode ser atribuída as características intrínsecas relacionadas aos polímeros utilizados na produção dos produtos.

| Amostra | Toque e pegajosidade | Espalhabilidade | Sensação durante o uso | Sensação após o uso |
|---|---|---|---|---|
| | Média ± DP<br>IA (%) | Média ± DP<br>IA (%) | Média ± DP<br>IA (%) | Média ± DP<br>IA (%) |
| **F1** | 3,20 ± 0,96*<br>64,0 | 3,20±1,05*<br>64,0 | 3,33±0,92*<br>66,6 | 3,43±1,00*<br>68,6 |
| **F2** | 4,10 ±0,67<br>82,0 | 4,03±0,85<br>80,6 | 4,10±0,76<br>82,0 | 3,83±0,80<br>76,6 |
| **F3** | 4,33 ±0,758<br>86,6 | 4,23±0,82<br>84,6 | 4,26±0,90<br>85,2 | 4,30±0,87<br>86,0 |

Tabela 4. Valores médios e desvio padrão das notas de intensidade (n=30).

DP: Desvio-padrão. *Diferença significativa entre as amostras da mesma coluna ($p< 0,05$); IA: Índice de Aceitabilidade (ideal > 70%). Fonte: Próprio autor..

Com relação a intenção de compra as amostras F2 e F3 apresentaram maior aceitação entre os julgadores sendo que especificamente a formulação F2 apresentou 60,0% de intenção de compra e a amostra F3 com 83,0%.

Apesar de não terem sido localizados estudos de análise sensorial realizados com formulações similares, estes achados foram ao encontro das expectativas dos formuladores e puderam demonstrar boa aceitação de preparações esfoliantes produzidas com pó de casca de romã. Os aspectos sensoriais e a intenção de compra indicaram alta aceitabilidade e elevado potencial mercadológico para os produtos, especialmente para as amostras F2 e F3. Destaca-se que na formulação F2, o pó de casca de romã foi incorporado na base formulada com co-polímero sintético do ácido sulfônico acriloildimetiltaurato e vinilpirrolidona neutralizado com amônia (*Aristoflex® AVC*) e na F3 foi usado o polímero derivado do ácido carboxivinílico (*Carbopol® Ultrex*), apresentando elevado IA dentre as formulações estudadas e sem o toque pegajoso quando foram comparados com o *Natrosol®* polímero derivado da celulose presente na F1.

## 4 I CONCLUSÃO

Os resultados demonstraram que o pó de casca de romã pode ser facilmente obtido e aproveitado em fórmulas de esfoliantes corporais. Os testes realizados foram importantes para estabelecer o perfil das características físico-químicas e microbiológicas das formulações. Na avaliação sensorial, a diferença entre os resultados foi considerada significativa para amostra F1 em comparação com as amostras F2 e F3, uma vez que o IA para essas amostras, foi maior que 70%, entretanto sugerem que o tipo de polímero utilizado pode influenciar no uso e aceitabilidade dos produtos. Embora estudos mais detalhados devam ser conduzidos no aprimoramento das formulações desenvolvidas é notório destacar que o pó de casca de romã demonstrou grande potencialidade e aplicabilidade

em formulações esfoliantes visando a produção de cosméticos de forma mais sustentável.

## REFERÊNCIAS


ARAÚJO, A.; LIMA, E.; SILVA, G.; SANTOS, O.; SOARES, T. Plantas nativas do Brasil empregadas em fitocosmética. **X Jornada de Ensino, Pesquisa E Extensão–Jepex**, 2010.

BAJAJ, P.; GOYAL, M.; CHAVAN, R. B. Synthesis and rheology of methacrylic acid-ethyl acrylate crosslinked polymers. **Polymer Gels and Networks**, v. 3, n. 2, p. 221-239, 1995.

BORGES, R.C.G.; GARVIL, M.P.; ROSA, G.A.A. Produção de fitocosméticos e cultivo sustentável da biodiversidade no Brasil. **e-RAC**, v. 3, n. 1, 2013.

BORGHETTI, G.S.; KNORST, M.T. Desenvolvimento e avaliação da estabilidade física de loções O/A contendo filtros solares. **Revista Brasileira de ciências farmacêuticas**, v. 42, n. 4, p. 531-537, 2006. http://www.scielo.br/pdf/rbcf/v42n4/a08v42n4.pdf

BRASIL. Resolução RDC N° 481, de 23 de setembro de 1999. Estabelece os parâmetros de controle microbiológico para produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumes. Diário Oficial da União, Brasília, DF, set, 1999.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Farmacopeia Brasileira**, vol. 1 e vol. 2, Brasília: Anvisa, 2019. 546p

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Guia de controle de qualidade de produtos cosméticos**. Brasília: Anvisa, 2007, 130 p.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada nº 7, de 10 de fevereiro de 2015. Dispõe sobre os requisitos técnicos para a regularização de produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumes e dá outras providências. http://portal.anvisa.gov.br.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Guia de estabilidade de produtos cosméticos**. Brasília: Anvisa, 2004, 52p. http://portal.anvisa.gov.br/documents/106351/107910/Guia+de+Estabilidade+de+Produtos+Cosm%C3%A9ticos/49cdf34c-b697-4af3-8647-dcb600f753e2

COELHO, A.G.; FEITOSA, T.C B.; CAMPOS, R.C.; VILARINHO, A.C.S.G.; CUNHA, F.V.M.; NUNES, L.C.C. Prospecção Tecnológica: Aplicação de Punica Granatum (Punicaceae) em Produtos Medicamentosos e Alimentícios. Revista GEINTEC-Gestão, Inovação e Tecnologias, v. 7, n. 4, p. 4100-4111, 2017. http://www.revistageintec.net/index.php/revista/article/view/968

CORDEIRO, R.E.P.; RIBEIRO, L.O.; CHIMATTI, W.; MENDES, M.F.; PEREIRA, C.D.S.S. Reaproveitamento do caroço da azeitona para produção de sabonete esfoliante: Uma produção sustentável. **Revista Eletrônica TECCEN**, v. 6, n. 1/2, p. 05-09, 2013. http://editora.universidadedevassouras.edu.br/index.php/TECCEN/article/view/261

DARLENSKI, R.; FLUHR, J.W. Measurement of skin surface acidity: measuring skin pH. **Agache's Measuring the Skin: Non-invasive Investigations, Physiology, Normal Constants**, p. 113-120, 2017.

DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. 4. ed. Curitiba: Champagnat, 2013. 531 p

FADAVI, A.; BARZEGAR, M.; AZIZI, M.H. Determination of fatty acids and total lipid content in oilseed of 25 pomegranates varieties grown in Iran. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 19, n. 6-7, p. 676-680, 2006.

FERREIRA, A.O.; BRANDÃO, M. **Guia prático da farmácia magistral**. São Paulo: Pharmabooks, 2008.

GOMES, A.L.; LANGER, C.M.; OLIVEIRA, E.C.; VAIROLETTO, L. Diferentes tipos de pele: diferentes necessidades cosméticas. In: **Congresso Nacional de Cosmetologia**. 1998. p. 220-231.

GONÇALVES, Jennifer Sumar; HENKES, Jairo Afonso. Produção de cosméticos de forma mais sustentável. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 5, n. 1, p. 473-488, 2016.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ, I. A. L. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008, 1020 p. http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf

ISAAC, V.L.B.; CEFALI, L.C.; CHIARI, B.G.; OLIVEIRA, C.C.L.G.; SALGADO, H.R.N.; CORREA, M. A. Protocolo para ensaios físico-químicos de estabilidade de fitocosméticos. **Revista de Ciências Farmacêuticas básica e aplicada**, v. 29, n. 1, p. 81-96, 2009. http://serv-bib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/Cien_Farm/article/view/438/421

ISAAC, V.L.B.; CHIARI, B.G.; MAGNANI, C.; CORRÊA, M.A. Análise sensorial como ferramenta útil no desenvolvimento de cosméticos. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, v. 33, n. 4, p. 479-488, 2013. http://200.145.71.150/seer/index.php/Cien_Farm/article/view/2268/1321

LANGLEY, P. Why a pomegranate? **Bmj**, v. 321, n. 7269, p. 1153-1154, 2000.

LANTZOURAKI, D.Z.; SINANOGLOU, V.J.; ZOUMPOULAKIS, P.; PROESTOS, C. Comparison of the antioxidant and antiradical activity of pomegranate (Punica granatum L.) by ultrasound-assisted and classical extraction. **Analytical Letters**, v. 49, n. 7, p. 969-978, 2016.

LOHSE-HANSON, C.; SKUTA, G.; KESSLER, K. Plastic microbeads in Minnesota: Potential impacts of plastic microbeads, used in many consumer products, on environmental and human health. **Minessota Pollution Control Agency**, 2014.

MINIM, V.P.R. **Análise sensorial: estudos com consumidores**. Universidade Federal de Viçosa, 2013, 332p.

MOUSSAVOU, U.P. A.; DUTRA, V.C. **Controle de Qualidade de Produtos Cosméticos**. Rede de Tecnologia e Inovação do Rio de Janeiro – REDETEC, 2012, 35p. http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NjExMw==

MOORE, C.J. Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat. **Environmetal Research**, v. 108, p 131-139, 2008.

OLIVEIRA, J.S. **Aplicação dos resíduos industriais do processamento de polpa de frutas na formulação de cosmético esfoliante**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. https://monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/7887/3/AplicacaodosResiduos_Oliveira_2018.pdf

ÖZGÜL-YÜCEL, S. Determination of conjugated linolenic acid content of selected oil seeds grown in Turkey. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 82, n. 12, p. 893-897, 2005.

RIBEIRO, C. **Cosmetologia Aplicada a Dermoestética 2a edição**. São Paulo: Pharmabooks, 2010.

SHAYGANNIA, E.; BAHMANI, M.; ZAMANZAD, B.; RAFIEIAN-KOPAEI, M. A review study on Punica granatum L. **Journal of evidence-based complementary & alternative medicine**, v. 21, n. 3, p. 221-227, 2016. https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2156587215598039

SILVA, L.M.M., MATA, M.E.R.M.C., DUARTE, M.E M. Teor de água limite para crioconservação de sementes de romã (Punica granatum L.). **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 2, p. 313-321, 2015. http://www.scielo.br/pdf/eagri/v35n2/1809-4430-eagri-35-2-0313.pdf

SINGH, B.; SINGH, J.P.; KAUR, A.; SINGH, N. Phenolic compounds as beneficial phytochemicals in pomegranate (Punica granatum L.) peel: A review. **Food chemistry**, v. 261, p. 75-86, 2018.

SOUZA, V.B.; FERREIRA, J.R.N. Desenvolvimento e estudos de estabilidade de cremes e géis contendo sementes e extratos do bagaço da uva Isabel (*Vitis labrusca* L.). **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, v. 31, n. 3, p. 217-222, 2010. http://200.145.71.150/seer/index.php/Cien_Farm/article/view/1276/991

WERKMAN, C.; GRANATO, D.C.; KERBAUY, W.D.; SAMPAIO, F.C..; BRANDÃO, A.A.H.; RODE, S.M. Aplicações terapêuticas da Punica granatum L.(romã). **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 10, n. 3, p. 104-111, 2008. http://www.sbpmed.org.br/download/issn_08_3/revisao_v10n3.pdf

GONÇALVES, J.S.; HENKES, J.A. Produção de cosméticos de forma mais sustentável. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 5, n. 1, p. 473-488, 2016.

# CAPÍTULO 3

# IMAGENS DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA FUNCIONAL EM ESTADO DE REPOUSO APLICADAS A ESTUDO DA DOR CRÔNICA UTILIZANDO DEEP LEARNING

**Sérgio Ricardo de Lima Novais**
Universidade São Francisco
Itatiba - SP
http://lattes.cnpq.br/9739795174055472

**Glaucilene Ferreira Catroli**
University of California
San Diego - CA
http://lattes.cnpq.br/4914553972592247

**Fábio Andrijauskas**
Universidade São Francisco
Itatiba - SP
http://lattes.cnpq.br/7771878233635494

**RESUMO:** O aprendizado de máquina é um conjunto de técnicas utilizadas para análise de dados e tem se mostrado muito eficiente na previsão de dados por meio de algoritmos e ferramentas estatísticas. A aplicação de imagens de ressonância magnética funcional em estado de repouso (rs-fMRI), auxiliadas por meio de redes neurais convolucionais (CNN), têm sido empregadas para acelerar e melhorar os processos de desenvolvimento de novos medicamentos e diagnósticos médicos. Nas pesquisas em dor crônica, a rs-fMRI é utilizada para fornecer dados com o paciente em repouso, algo que é interessante para avaliar pacientes incapazes de realizar qualquer tipo de tarefa, como pessoas com Alzheimer e Demência avançados. No entanto, as informações geradas por um teste rs-fMRI requerem conhecimentos específicos para serem interpretados. Uma análise precisa dos resultados de rs-fMRI, exige pré-processamento, mapeamento das áreas ativas do cérebro e, por fim, a aplicação do método de análise. Para esta pesquisa, foi realizado um levantamento bibliográfico para investigar os procedimentos atuais de pré-processamento e quais seriam os motivos de sua escolha. Assim, para a primeira parte da pesquisa, foram selecionados cerca de 40 artigos. Ao analisá-los, constatou-se que não há um protocolo definido para o desenvolvimento de um pré-processamento de rs-fMRI que resulte em alto grau de confiabilidade na aplicação do método analítico. Mesmo assim, foi possível determinar quais processos podem ser realizados no pré-processamento de rs-fMRI como remoção de crânio, redução de artefatos, correção de movimento, tempo de corte, suavização espacial, co-registro e normalização. Neste sentido, aplicando-se técnicas de mapeamento é possível realizar classificação e diagnosticar pessoas com dor crônica para que seja possível efetuar um melhor tratamento e consequentemente, aumentar a qualidade de vida dos pacientes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Rs-fmri, dor, redes neurais convolucionais, conectoma, conectividade funcional.

## RESTING-STATE FUNCTIONAL MAGNETIC RESONANCE IMAGES APPLIED TO THE STUDY OF CHRONIC PAIN USING DEEP LEARNING

**ABSTRACT:** Machine learning is a set of techniques used for data analysis and has been shown to be very efficient in predicting data through algorithms and statistical tools. The application of

resting-state functional magnetic resonance imaging (rs-fMRI), aided through convolutional neural networks (CNN), has been employed to accelerate and improve the processes of developing new drugs and medical diagnoses. In chronic pain research, rs-fMRI is used to provide data with the patient at rest, something that is interesting for evaluating patients who are unable to perform any type of task, such as people with advanced Alzheimer's and Dementia. However, the information generated by an rs-fMRI test requires specific knowledge to be interpreted. An accurate analysis of rs-fMRI results requires pre-processing, mapping of active areas of the brain and, finally, application of the analysis method. For this research, a bibliographic survey was carried out to investigate the current pre-processing procedures and what would be the reasons for their choice. Thus, for the first part of the research, about 40 articles were selected. When analyzing them, it was found that there is no defined protocol for the development of a pre-processing of rs-fMRI that results in a high degree of reliability in the application of the analytical method. Even so, it was possible to determine which processes can be performed in the pre-processing of rs-fMRI such as skull removal, artifact reduction, motion correction, cropping time, spatial smoothing, co-registration and normalization. In this sense, by applying mapping techniques, it is possible to classify and diagnose people with chronic pain so that it is possible to carry out a better treatment and, consequently, increase the quality of life of patients.
**KEYWORDS:** Rs-fmri, pain, convolutional neural network, connectome, functional connectivity.

## 1 I INTRODUÇÃO

O cérebro controla todas as funções complexas do corpo humano. Em sua estrutura, ele é organizado em diferentes regiões especializadas para processar e retransmitir sinais neurais. No parecer funcional, ele é subespecializado para processos perceptuais e cognitivos (LV, H. et al, 2018). Tais áreas são formadas por grandes conjuntos de neurônios que não possuem nenhuma reserva interna de energia, mas quando ativados recebem oxigênio por meio de um processo chamado resposta hemodinâmica. Este acontecimento resulta em mudança dos níveis de oxiemoglobina e desoxihemoglobina que podem ser detectados por imagens de Ressonância Magnética (RM). Esta característica foi analisada pela primeira vez nos estudos de Biswal et al (1995), no qual foi relatado a presença de atividade espacialmente coerente no sinal de Imagem de Ressonância Magnética Funcional (fMRI) dependente do nível de oxigênio no sangue em estado de repouso (BOLD). As flutuações espontâneas no sinal BOLD trabalham em frequências muito baixas (< 0,1 Hz) e existem conjuntos de áreas do cérebro que sofrem essas flutuações e são denominados redes de estado de repouso (RSN) (Fröhlich, 2016).

A dor é uma das funções cerebrais que está relacionada à sobrevivência e é caracterizada com uma experiência subjetiva, sensorial e emocional desagrável (RAJA, Srinivasa N. et al., 2020).

Apesar de desagradável, essa percepção tem imenso valor biológico pois trata-

se do alerta frente a uma possível lesão tecidual resultante de estímulos intensos ou a lesões teciduais reais. A dor permite a detecção de ameaças à integridade tecidual e, por consequência, previne maiores injúrias ao organismo (WOLLER et al., 2017). Embora mantenha uma função protetiva, quando crônica, a dor perde essa função de "alerta" e geralmente está associada à sensibilização da via nociceptiva sem que haja um processo inflamatório do tecido periférico, lesão subjacente, distúrbio ou doença que justifique tal sensibilização (MANION et al., 2019).

Dores crônicas, independentemente de sua origem, representam um sério problema em diversos países, pois estão frequentemente associadas à incapacitação e restrições na mobilidade, geram ansiedade, depressão e reduzem significativamente a qualidade de vida de jovens e adultos em idade produtiva. Dentre muitas manifestações dolorosas que afligem milhões de pessoas em todo o mundo, destaca-se aqui, a dor lombar.

A dor crônica na lombar apresenta-se como um problema de saúde pública e estima-se que 70% a 85% da população experimentará um episódio de lombalgia em algum momento. Noventa por cento desses indivíduos terão mais de um episódio (SILVA et al., 2004; ANDERSSON, 1999). A prevalência anual de dor lombar crônica varia de 15% a 45%, com prevalências pontuais em média 30% (ANDERSSON, 1997). Nos EUA, a dor lombar aguda e crônica é a causa mais comum de limitação de atividades em pessoas com menos de 45 anos e o segundo motivo mais frequente de consultas médicas (HART et al., 1995; PRAEMER et al., 1992). Os dados de outros países ocidentais são semelhantes. Estimativas do Reino Unido mostram a dor lombar como a maior causa individual de afastamento do trabalho, respondendo por 12,5% de todos os dias de licença médica e mais de £11 bilhões em custos diretos e indiretos (FRANK, 1993; MANIADAKIS e GRAY, 2000).

Vários estudos mostraram que as síndromes de dor crônica também estão associadas a alterações na conectividade funcional dos sinais BOLD (BALIKI et al., 2008). Por exemplo, pacientes com dor lombar crônica (CBP) parecem ter desativações reduzidas em regiões cerebrais específicas da rede de modo padrão (DMN) (SANTANA et al., 2019). As flutuações do sinal BOLD e alterações da DMN podem ser analisadas por meio de Imagens de Ressonância Magnética Funcional em Estado de Repouso (rs-fMRI).

A rs-fMRI é usada para detectar regiões cerebrais funcionalmente ligadas cujos padrões de BOLD estão temporalmente correlacionados quando o sujeito está em repouso, isto é, quando nenhum estímulo ou tarefa específica é apresentado (BISWAL et al., 1995). Particularmente, este modelo de Imagem de Ressonância Magnética Funcional (fMRI) é interessante para utilização em procedimentos pré-operatórios, pois é possível avaliar por exemplo quais áreas e em qual proporção estão sendo afetadas por um tumor ou também para pacientes que estão impossibilitados de responder ou realizar tarefas mais complexas.

Para realizar algum tipo de avaliação por meio de rs-fMRI, é necessário um processo analítico que muitas vezes torna-se trabalhoso, pois demanda conhecimento de fisiologia,

anatomia e neurociência. É possível automatizar o processo de análise e para isso faz-se fundamental a aplicação de quatro procedimentos: o pré-processamento, mapeamento das regiões de interesse (ROIs), aplicação de filtros e posteriormente aplicação de uma técnica de análise como o *Machine Learning* (*ML*).

O *machine learning* representa um conjunto de técnicas que consegue aprender e analisar relações não triviais sobre um conjunto de dados, mostrando análises que são capazes de criar dados próximos de um conjunto ou ainda indicar se um dado pertence a um grupo específico (ALPAYDIN, 2004). As pesquisas na área de dor geram grande quantidade de dados que se enquadram dentro do escopo de análises abrangidas pelo *ML* (LÖTSCH, 2017).

Dentre algumas técnicas de *ML* às redes neurais artificiais (RNA) como um excelente método de análise para projetos. Tal técnica foi desenvolvida inicialmente por Warren McCulloch e Walter Pitts (1943) com base em três fontes: o conhecimento da fisiologia básica e da função dos neurônios no cérebro; uma análise formal da lógica proposicional criada por Russell e Whitehead; e a teoria da computação de Turing (RUSSEL; NORVIG, 2013). McCulloch e Pitts (1943), apresentaram um modelo onde poderiam ser definidas redes simples que, se dispostas apropriadamente, seriam aptas a aprender. A técnica consiste em redes compostas por nós ou unidades conectadas por ligações direcionadas.

A junção dos estudos da dor com técnicas de *ML* ainda é um elemento novo, mas a implementação de ferramentas que ampliem a visão dos pesquisadores (EMIR et al., 2016), mesmo que iniciais, já é de grande valia no processo de desenvolvimento de medicamentos e diagnósticos mais precisos. Além disso, a computação de alto desempenho emerge como uma das ferramentas para unir as áreas biológicas e computacionais, tornando possível a simulação e análise de cenários mais próximos da realidade (ANDRIJAUSKAS e CATROLI, 2020).

Pesquisas relacionadas à dor são, em geral, englobadas pela neurociência, seja avaliando anatomia estrutural e/ou conectividade funcional, visam a busca por novos alvos terapêuticos que representem o desenvolvimento de tratamentos mais efetivos e com menor incidência de efeitos adversos aos pacientes que sofrem com diferentes tipos de dor.

## 2 | CONECTIVIDADE FUNCIONAL

Nos últimos anos tem surgido o estudo da conectividade funcional por meio do desenvolvimento de conectomas, que se caracterizam pela pesquisa e análise das conexões entre as regiões cerebrais como demonstrado na Figura 1.

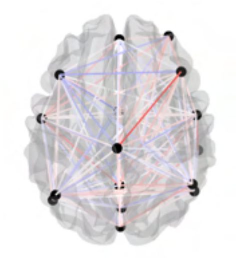


Figura 1: Ilustração de um conectoma baseado em rs-fMRI, onde cada círculo preto representa uma região cerebral e as conexões em branco apresentam correlação próximo ou igual a zero, conexões em azul correlação negativa e em vermelho correlação positiva

Fonte: Próprio autor

De acordo com Raichle (2015), a conectividade funcional fornece uma ferramenta para compreender quais regiões do cérebro podem estar se comunicando durante a conclusão das demandas cognitivas ou afetivas e quais circuitos cerebrais apoiam o desempenho em diferentes domínios da cognição, emoção e/ou processamento social. Assim, podem ser construídos modelos sobre síndromes, doenças e também sobre a dor crônica.

## 3 | MODELO DE MATRIZ DA DOR CRÔNICA

A definição padrão de dor crônica endossada pela Associação Internacional para o Estudo da Dor afirma que é a dor que persiste após a fase de cura de uma lesão (MERSKEY e BOGDUK, 1994). Determinar o fim da fase de cura é difícil, entretanto, ao em vez disso, a definição clínica comum é um tempo fixo de dor persistente após seu início inicial (APKARIAN et al., 2008).

Existe uma longa lista de condições clínicas de dor crônica. Geralmente são identificados pelo local da lesão (por exemplo, costas, cabeça) e categoria de lesão (por exemplo, artrítica, câncer, miofascial, diabética) (APKARIAN et al., 2010). As manifestações clínicas costumam ser uma combinação de múltiplas condições de dor; mesmo em uma única condição, observa-se que diversos tipos de tecidos e células contribuem. Talvez o exemplo mais notório seja a dor nas costas crônica, onde é muito difícil determinar o tipo de tecido lesado e com a extensão da degeneração articular, lesões musculares e nervosas variando amplamente entre os pacientes, o envolvimento relativo de cada um permanece obscuro e indeterminado (APKARIAN et al., 2010).

Além disso, a dor pode ser definida como uma experiência sensorial e emocional complexa que pode variar amplamente entre as pessoas e até em um mesmo indivíduo, dependendo do contexto e do significado da dor e do estado psicológico da pessoa (BUSHNELL et al., 2013). Estudos clínicos e experimentais mostram que mesmo uma

simples manipulação psicológica, como distração, pode ter um efeito poderoso em nossa percepção da dor (VILLEMURE e BUSHNELL, 2002). O estado emocional também tem uma enorme influência sobre a dor; um estado emocional negativo aumenta a dor, enquanto um estado positivo diminui a dor (VILLEMURE e BUSHNELL, 2009). Na figura 2 tem-se o esquema das relações citadas.

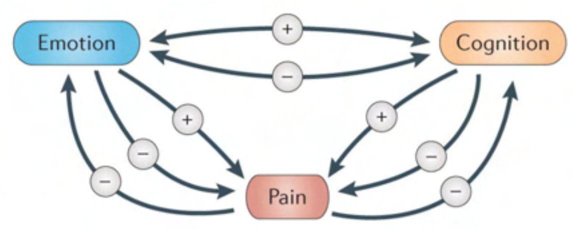



Figura 2: *Loops* de *feedback* entre dor, emoções e cognição

Fonte:BUSHNELL et al., 2013.

Várias vias no Sistema Nervoso Central (SNC) estão envolvidas no processamento da dor. Estudos de imagem do cérebro humano revelaram redes corticais e subcorticais consistentes que são ativadas pela dor, incluindo regiões sensoriais, límbicas e associativas (BUSHNELL et al., 2013).

As áreas do cérebro mais comumente ativadas por estímulos nocivos em estudos de imagem do cérebro humano são o córtex somatossensorial primário (S1), córtex somatossensorial secundário (S2), córtex cingulado anterior (ACC), ínsula, córtex pré-frontal (PFC), tálamo, cerebelo, substância cinza periaquedutal (APKARIAN et al., 2004; ZHANG et al., 2014; WAND et al., 2009; MELZACK, 2001; APKARIAN, 2012; APKARIAN, 2010; APKARIAN et al., 2015; APKARIAN et al., 2013; MAIHÖFNER et al., 2006; GUSTIN et al., 2012; WAND ET et al., 2011; SEMINOWICZ et al., 2011; FLOR, 2011; LINNMAN et al., 2013; WILLIS JR, 1985). A ativação neural nessas áreas é consistente com estudos anatômicos e eletrofisiológicos que mostram possível conectividade nociceptiva aferente para essas regiões (BUSHNELL et al., 2013). Através de estudos anatômicos e eletrofisiológicos, outras regiões também mostraram ter entrada nociceptiva e esses achados foram confirmados por estudos de imagens cerebrais (BUSHNELL et al., 2013). Como seria de se esperar, as múltiplas vias cerebrais relacionadas à dor são importantes para diferentes aspectos da experiência dolorosa.

A dor envolve sensações como queimação ou hipersensibilidade com locais e durações identificáveis. No entanto, o que caracteriza a sensação "dor" geralmente é o componente afetivo da experiência, isto é, quão desagradável é a experiência (BUSHNELL et al., 2013). É o desagrado que motiva o indivíduo a se envolver em um comportamento,

seja para fugir, lutar ou congelar. Em alguns casos, uma sensação dolorosa pode ser experimentada como prazerosa, como uma massagem profunda e, nesse caso, cria um estado motivacional positivo. Imagens do cérebro e estudos de lesões implicam diferentes regiões cerebrais nesses diferentes aspectos da experiência da dor. Os córtices somatossensoriais (S1 e S2) codificam informações sobre características sensoriais (KENSHALO, ISENSEE, 1983; KENSHALO et al., 1988; CHUDLER et al., 1990; PIONER et al., 1999; GREENSPAN 1999). Alternativamente, o ACC e a ínsula, que há muito tempo são considerados componentes da parte límbica (emocional) do cérebro, são mais importantes para codificar os aspectos emocionais e motivacionais da dor. No entanto, a conectividade funcional observada nessas imagens apresenta-se como um grande obstáculo para sua interpretação em ferramentas de imagens e demandam alguns processos para filtrar as informações contidas.

## 4 | APLICAÇÃO DE FILTROS

Embora a aplicação de RNAs para análise de imagens médicas esteja bem estabelecida para algumas aplicações clínicas, seu uso para aplicações neurológicas só recentemente se tornou mais popular (YOO et al., 2014, YANG et al., 2014, LIU et al., 2014). Recentemente, Bruna et al., (2013) e Henaff et al., (2015) mostraram que as *Convolutional Neural Networks* podem ser aplicadas a dados em um domínio de grafo. Neste sentido, para o caso de redes cerebrais estruturais, o sinal de entrada é dado como peso nas bordas, refletindo a força da conectividade entre as regiões (KAWAHARA et al., 2016). Desta forma, não é possível o emprego direto de técnicas clássicas em domínio de grafos, fazendo-se necessário a criação de filtros específicos para dados em forma de grafos.

Uma maneira de aplicar RNAs aos dados da rede do cérebro é ignorar a estrutura da rede cerebral e tratar os pesos das bordas de entrada como um vetor de recursos (MUNSELL et al., 2015). Essa abordagem, no entanto, descarta as relações topológicas entre as arestas que são intrínsecas aos dados. De acordo com Kawahara et al, (2016), uma abordagem alternativa é tratar a matriz de adjacência como uma imagem e usar filtros convolucionais já estabelecidos na literatura projetados para capturar a localidade da grade 2D espacial das imagens.

No entanto, a localidade espacial entre as entradas da matriz de adjacência não corresponde diretamente à localidade topológica na rede cerebral (KAWAHARA et al., 2016). Portanto, faz-se necessário aplicar filtros diferenciados que alavanquem a estrutura do conectoma representado pela matriz de adjacência.

## 5 I RECRIAÇÃO DA *BRAINNET CNN*

De acordo Kawahara et al., (2016), a arquitetura do *BrainNetCNN* (para conectomas) foi baseada em uma CNN (para imagens), onde a primeira seção da rede é composta de camadas convolucionais e a última seção é composta de camadas totalmente conectadas. A Fig. 3 é um diagrama de blocos de uma arquitetura representativa adaptada do BrainNetCNN com pelo menos uma camada de cada um dos filtros propostos.

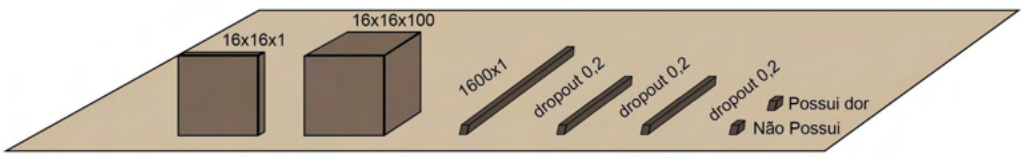



Figura 3: Arquitetura baseada no modelo *BrainNetCNN*.

Fonte: NOVAIS, 2022.

## 6 I DISCUSSÃO DO PRÉ-PROCESSAMENTO DE FMRI

As estratégias de pré-processamentos não são fixas, e os procedimentos dependem dos dados, de objetivos de análise e possuem motivações pragmáticas como disponibilidade de *software* e facilidade de uso. De acordo com Aurich (2015), a existência de várias estratégias de pré-processamento ocorre devido ao aumento de técnicas, algumas são apresentadas na Tabela 1.

| Estratégias | Filtro passagem de banda | Regressão CSF e WM | Redução de movimento | Redução de *outliers* | Regressão do sinal global |
|---|---|---|---|---|---|
| A | | | | | |
| B | x | | | | |
| C | | x | | | |
| D | x | x | | | |
| E | x | x | x | | |
| F | x | x | | x | |
| G | x | x | x | | x |

Tabela 1: Seleção de sete estratégias de pré-processamento

Fonte: AURICH, 2015.

Para realizar estes processos existem diversos *softwares* como SPM em sua versão 12, DPARSF, BrainVoyager, AFNI, 3DSlicer, FMRIB *Software Library* (FSL). Apesar das variadas opiniões de inúmeros autores, torna-se possível selecionar algumas etapas como remoção do crânio, redução de artefatos, correção de movimento, *slice-time*, suavização

espacial, corregistro e normalização (CHAND et al., 2020; LIU et al., 2019; FENG et al., 2020; HAN et al., 2019; JOO et al., 2020; LEE, M. H., SMYSER, C. D. & SHIMONY, J. S., 2013; LEE, W. H. & FRANGOU, S., 2017; LI, C. & TIAN, L., 2014; WANG et al., 2015).

Contudo, após a etapa de pré-processamento deve-se realizar o mapeamento cerebral das imagens de modo a extrair os sinais BOLD em forma de séries temporais como pode ser visualizado na figura 4.

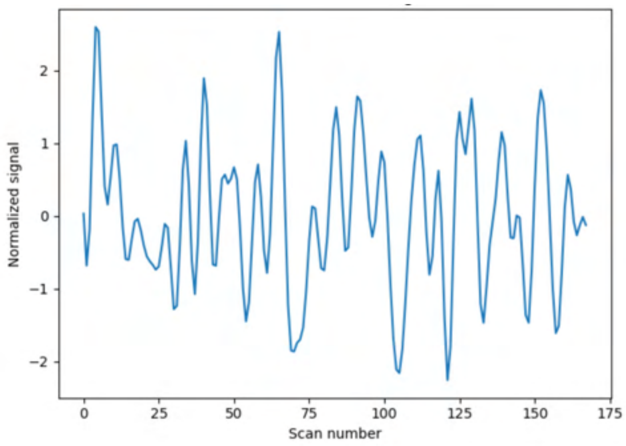



Figura 4: Sinal extraído do Córtex Cingulado Posterior

Fonte: NOVAIS, 2022.

Estes sinais são derivados do rastreamento temporal realizado pela máquina de RM. A partir deste sinal, é possível realizar cálculos para encontrar as correlações de Pearson entre as áreas do cérebro, ou seja, medir o quanto uma área está correlacionada com outra.

A mudança na configuração da divisão da base de conectomas impacta diretamente no aprendizado de uma RNA, pois ainda que o aprendizado ocorra, são necessárias cinquenta épocas a mais para o algoritmo aprender, porém, para estabilizar ainda são necessárias cerca de 150 épocas a mais do que comparado a divisão original.

Por fim, os experimentos permitiram constatar que os filtros recriados realmente funcionam, pois, segundo os criadores, os filtros fazem com que o tamanho da rede neural densa necessária para tratar o problema de classificação seja bem menor do que se comparado a não utilização dos filtros. Além disso, o algoritmo aprendeu a diagnosticar uma pessoa com dor crônica na região lombar.

## 7 I CONCLUSÃO

Realizando uma pesquisa relativamente aprofundada sobre pré-processamento, dor crônica e rs-fMRI ressalta-se que, quando é dito relativo, refere-se a achados de artigos que apresentaram mais de duzentas e cinquenta referências em seu corpo. A maioria dos estudos trabalha com a experiência trazida de outras categorias de imagem. Mesmo que alguns autores tenham convergido suas ideias em algumas etapas necessárias e importantes para o pré-processamento, novas pesquisas voltadas à inovação e que contemplem a integração de várias áreas do conhecimento são essenciais para o avanço científico. Além disso, o uso dessas técnicas com métodos de mapeamento e algoritmos de *Deep Learning* torna possível o diagnóstico de transtornos e doenças que afetam diretamente a qualidade de vida das pessoas. Esses esforços representam a evolução técnico-científica que impacta diretamente no sucesso de diagnósticos e tratamentos.

## REFERÊNCIAS


ALPAYDIN, E. Introduction to Machine Learning. Adaptive computation and machine learning. *MIT Press*, 2004.

ANDERSSON, G. B. J. The epidemiology of spinal disorders. In: Frymoyer JW, editor. The adult spine: principles and practice. Lippincott-Raven. 1997.

ANDERSSON, G. B. Epidemiological features of chronic low-back pain. Lancet. 1999;354(9178):581-5.

ANDRIJAUSKAS, F; CATROLI, F. G. Computação de Alto Desempenho e Dinâmica Molecular. Engenharia Moderna: Soluções para problemas da Sociedade e da Indústria. Atena 2020.

APKARIAN, V. Human brain mechanisms of pain perception and regulation in health and disease. 2005.

APKARIAN, V; Baliki, M. N.; Geha P. Y. Towards a theory of chronic pain. Prog Neurobiol. 2008; 87(2):81-97. doi:10.1016/j.pneurobio.2008.09.018.

APKARIAN, V. “The brain in chronic pain: clinical implications.” Pain management vol. 1,6 (2011): 577-586. doi:10.2217/pmt.11.53.

AURICH, N. K. et al. Avaliação da confiabilidade de diferentes etapas de pré-processamento para estimar as medidas de teoria dos grafos em dados de fMRI de estado de repouso. *Frontiers in Neuroscience*, vol. 9. 2015.

BALIKI, M. N. et al. Além do sentimento: a dor crônica fere o cérebro, interrompendo a dinâmica da rede do modo padrão. *The Journal of Neuroscience: o jornal oficial da Society for Neuroscience* vol. 28,6, 2008.

BISWAL, B. et al. Conectividade funcional no córtex motor do cérebro humano em repouso usando ressonância magnética ecoplanar. *Magn. Reson. Med. 34 , 537–541*, 1995.

BRUNA, J. et al. Spectral Networks and Locally Connected Networks on Graphs. pré-impressão arXiv, p. 14, 2013.

BUSHNELL, M. C. et al. Cognitive and emotional control of pain and its disruption in chronic pain. Nature reviews. Neuroscience vol. 14,7 (2013): 502-11. doi:10.1038/nrn3516.

CHAND, G. B. et al. Estimar o fluxo sanguíneo cerebral regional usando ressonância magnética funcional em estado de repouso por meio de aprendizado de máquina. *Journal of Neuroscience Methods*, Vol 331, 2020.

CHUDLER, E. H. et al. Responses of nociceptive SI neurons in monkeys and pain sensation in humans elicited by noxious thermal stimulation: effect of interstimulus interval. J Neurophysiol. 1990;63:559–569, 1990.

CUINGNET, R. et al. Spatial regularization of SVM for the detection of diffusion alterations associated with stroke outcome, 2011.

EMIR, B. et al. "(414) Predictors of response to pregabalin for broad neuropathic pain: results from 11 machine learning methods from a 6-week German observational study". Em: The Journal of Pain 17.4, Supplement. *Abstracts Presented at the 35th Annual Scientific Meeting of the American Pain Society*, S78, 2016.

FENG, S. et al. Padrões espaciais anormais de atividade cerebral intrínseca na osteonecrose da cabeça femoral: um estudo de imagem por ressonância magnética funcional em estado de repouso. *Frontiers in Human Neuroscience*. vol 14, 2020.

FLOR H. Cortical reorganisation and chronic pain: implications for rehabilitation. J Rehabil Med. 2003 May;(41 Suppl):66-72. doi: 10.1080/16501960310010179. PMID: 12817660.

FRANK, A. Low back pain. BMJ. 1993;306:901–909, 1993.

FRÖHLICH, F. Capítulo 13 - Imagem de rede funcional com MRI. *Network Neuroscience, Academic Press, 2016*, Pages 177-185.

FRYMOYER, J. W. Back pain and sciatica. N Engl J Med. 1988;318:291–300.

GREENSPAN, J. D. et al. Pain sensitivity alterations as a function of lesion location in the parasylvian cortex. Pain. 1999;81:273–282.

GUSTIN, S. M. et al. Pain and Plasticity: Is Chronic Pain Always Associated with Somatosensory Cortex Activity and Reorganization? Journal of Neuroscience 24 October 2012, 32 (43) 14874-14884; DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1733-12.2012.

HAN, F. et al. Correlação entre a conectividade funcional relacionada ao tálamo e os níveis séricos de BDNF durante a fase periovulatória da dismenorreia primária. *Front Hum Neuroscience*, 2019.

HART, L. G. et al. Physician office visits for low back pain. Frequency, clinical evaluation, and treatment patterns from a U.S national survey. Spine. 1995;20:11–19.

HENAFF, M. et al. Spectral Networks and Locally Connected Networks on Graphs. pré-impressão arXiv, p. 14, 2015.

JOO, S. W. et al. Controle executivo aberrante e redes auditivas na esquizofrenia de início recente. *Neuropsychiatr Dis Treat. 2020*; 16: 1561-1570.

KAWAHARA, J. et al. BrainNetCNN: Convolutional neural networks for brain networks; towards predicting neurodevelopment, NeuroImage, Volume 146, 2016, Pages 1038-1049, ISSN 1053-8119, https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.09.046.

KENSHALO, D. R. Jr, Isensee O. Responses of primate SI cortical neurons to noxious stimuli. J Neurophysiol. 1983;50:1479–1496.

KENSHALO,  D. R. Jr; Chudler EH, Anton F; Dubner R. SI nociceptive neurons participate in the encoding process by which monkeys perceive the intensity of noxious thermal stimulation. Brain Res. 1988;454:378–382.

LEE, M. H.; Smyser, C. D.; Shimony, J. S. FMRI de estado de repouso: uma revisão de métodos e aplicações clínicas. *American Journal of Neuroradiology*, outubro de 2013, 34 (10) 1866-1872.

LEE, W. H.; FRANGOU, S. Vinculando conectividade funcional e propriedades dinâmicas de redes em estado de repouso. *Sci Rep 7*, 16610 (2017).

LINNMAN, C et al. Neuroimaging of the periaqueductal gray: state of the field. Neuroimage. 2012;60(1):505-522. doi:10.1016/j.neuroimage.2011.11.095.

LIU, S. et al. Early diagnosis of Alzheimer's disease with deep learning. In: IEEE ISBI, Beijing, IEEE, pp. 677–680, 2014.

LIU, C. et al. Diferença da atividade cerebral espontânea em adultos saudáveis com duas constituições corporais diferentes: um estudo de imagem por ressonância magnética funcional em estado de repouso. *J. Clin. Med.* 2019.

LI, F. et al. Robust Deep Learning for Improved Classification of AD/MCI Patients. In: Proceedings of MICCAI 2014 Machine Learning in Medical Imaging (MLMI) Workshop, pp. 240–247, 2014.

Li, C.; TIAN, L. Association between Resting-State Coactivation in the Parieto-Frontal Network and Intelligence during Late Childhood and Adolescence, 2014.

LOTSCH, J.; ULTSCH, A. "Machine learning in pain research." Em: Pain, 159(4), 623-630, 2017.

MAIHOFNER, C, et al. Functional imaging of allodynia in complex regional pain syndrome. Neurology. 2006 Mar 14;66(5):711-7. doi: 10.1212/01.wnl.0000200961.49114.39. PMID: 16534108.

MANIADAKIS, N.; GRAY, A. The economic burden of back pain in the UK. Pain. 2000;84:95–103.

MANION, J. et al. Developing modern pain therapies. Frontiers in Neuroscience 2019;13:1-22.

MERSKEY, H.; BOGDUK, N. Classification of chronic pain, 1994.

MUNSELL, B. C. et al. Evaluation of machine learning algorithms for treatment outcome prediction in patients with epilepsy based on structural connectome data. NeuroImage, 118 (2015), pp. 219-230.

PIONER, M. et al. Pain affect without pain sensation in a patient with a postcentral lesion. Pain. 1999;81:211–214.

PRAEMER, A. et al. Musculoskeletal conditions in the United States. AAOS; Rosemont: 1992. pp. 1–99.

RAJA, Srinivasa N. et al. "The revised International Association for the Study of Pain definition of pain: concepts, challenges, and compromises." *Pain* vol. 161,9 (2020): 1976-1982. doi:10.1097/j.pain.0000000000001939.

RUSSEL, S.; P. NORVIG. Inteligência Artificial. Em: A gestação da inteligência artificial (1943-1955), pp. 41 e 843, 2013.

SANTANA, A. N. et al. Usando aprendizado profundo e fMRI de estado de repouso para classificar condições de dor crônica, 2019.

SEMINOWICZ, D. A. et al. Effective Treatment of Chronic Low Back Pain in Humans Reverses Abnormal Brain Anatomy and Function. Journal of Neuroscience 18 May 2011, 31 (20) 7540-7550; DOI: 10.1523/JNEUROSCI.5280-10.2011.

SILVA, M. C et al. Chronic low back pain in a Southern Brazilian adult population: prevalence and associated factors. Cad Saude Publica. 2004;20(2):377-85.

VILLEMURE, C.; BUSHNEL, M. C. Mood influences supraspinal pain processing separately from attention. J Neurosci. 2009;29:705–715. This is the first study to dissociate the circuitry involved in emotional and attentional modulation of pain.

WANG et al., 2009. Cortical changes in chronic low back pain: Current state of the art and implications for clinical practice. doi: 10.1016/j.math.2010.06.008. Epub 2010 Jul 23. PMID: 20655796.

WAND, BM. et al. Cortical changes in chronic low back pain: current state of the art and implications for clinical practice. Man Ther. 2011 Feb;16(1):15-20. doi: 10.1016/j.math.2010.06.008. Epub 2010 Jul 23. PMID: 20655796.

WILLIS, WD Jr. Central nervous system mechanisms for pain modulation. Appl Neurophysiol. 1985;48(1-6):153-65. doi: 10.1159/000101121. PMID: 3017206.

WOLLER, S. A. et al. An overview of pathways encoding nociception. Clin Exp Rheumatol 2017; 35 (Suppl. 107): S40-S46.

YANG, Z. et al. Deep learning for cerebellar ataxia classification and functional score regression. In: Proceedings of MICCAI 2014 Machine Learning in Medical Imaging (MLMI) Workshop. Springer International Publishing, Cham, pp. 68–76, 2014.

YOO, Y. et al. Deep learning of image features from unlabeled data for multiple sclerosis lesion segmentation. In: Machine Learning in Medical Imaging. Springer International Publishing, Cham, pp. 117–124, 2014.

ZHANG, S. et al. Resting-state connectivity in the default mode network and insula during experimental low back pain, 2014.

# CAPÍTULO 4

# BALSANET - PLATAFORMA COMPUTACIONAL MULTIPARÂMETROS CONTROLADA REMOTAMENTE PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ÁGUAS SUPERFICIAIS


**Kelvyn Souza Santana**
Universidade São Francisco
Itatiba – São Paulo
http://lattes.cnpq.br/1419045390046734

**Anderson Quintino da Fonseca**
Universidade São Francisco
Itatiba – São Paulo
http://lattes.cnpq.br/3802545729012015

**Vicente Idalberto Becerra Sablón**
Universidade São Francisco
Itatiba – São Paulo
http://lattes.cnpq.br/6350047853320576

**Annete Silva Faesarella**
Universidade São Francisco
Itatiba – São Paulo
http://lattes.cnpq.br/8546620295718065



**RESUMO:** Neste artigo, apresenta-se a plataforma computacional BALSANET. Trata-se de um sistema *ciber* físico, embarcado, num catamarã, com o objetivo de monitorar a qualidade de águas superficiais, como rios, lagos e reservatórios. O protótipo pode ser controlado remotamente via aplicativo de dispositivos móveis, sendo capaz de realizar medições de três parâmetros importantes do Índice de Qualidade da Água, que são a temperatura, a turbidez e o potencial hidrogeniônico. Para analisar outros parâmetros, o sistema é equipado com um dispositivo para coleta e armazenamento de água, além disso, o protótipo tem a funcionalidade de gravar os dados obtidos e exportá-los para uma planilha. Para seu desenvolvimento foi utilizado a plataforma de prototipagem de *hardware* livre que é capaz de integrar sensores e atuadores de forma discreta ou analógica, além de conter *shields* que facilitam o uso de módulos mais complexos como sistemas de comunicação de dados. A primeira parte do projeto foi dedicada à pesquisa, planejamento, dimensionamento e modelagem do sistema. Com sua finalização, foram realizados os testes de bancada até que todo o sistema fosse integrado. Com o sistema *ciber* físico integrado e a embarcação construída, a próxima etapa foi realizar testes de campo, reparar erros e validar o protótipo desenvolvido.



**PALAVRAS-CHAVE:** BALSANET, Plataforma Computacional, Monitoramento de Água, Controle remoto.


## BALSANET - REMOTELY CONTROLLED MULTI-PARAMETER COMPUTING PLATFORM FOR MONITORING THE QUALITY OF SURFACE WATER


**ABSTRACT:** In this paper, the BALSANET computational platform is presented. It's a cyber-physical system, embedded in a Catamaran. The objective is to monitor the quality of surface water, like rivers, lakes and water reservoir. The prototype can be remotely controlled by a mobile device app, being able to measure three important parameters of the Water Quality Index, which are temperature, turbidity and hydrogen potential. To analyze other parameters, the system is equipped with a device for collecting and storing water. In addition, the prototype has

the functionality to record the data obtained and export it to a digital spreadsheet. For the development of the BALSANET, it was used a free hardware prototyping platform able to integrate sensors and actuators in a discrete or analog way. In addition, the platform allows the use of shields that facilitate the use of more complex devices. The first part of the project was dedicated to the research, planning, dimensioning and modeling of the system that would be built. With this stage completed, some bench tests were carried out until the entire system was integrated. With the cyber-physical system integrated and the vessel built, the next step was to carry out field tests, repair errors and validate the prototype developed.
**KEYWORDS:** BALSANET, Computational platform, Water monitoring, Remote control.

## 1 I INTRODUÇÃO

A água é o recurso mais importante para a sobrevivência de todos os seres vivos, e para a espécie humana, além do consumo, ela é usada em diferentes setores da sociedade, como geração de energia, agricultura, indústria e necessidades diárias da população. E por conta desse uso, por muitas vezes agressivo da água, os ecossistemas aquáticos vêm sendo infectados e destruídos. Nowacki (2014) define a poluição das águas como sendo a presença, o lançamento ou a liberação de substâncias que estejam em desacordo com a legislação vigente e que tornem as águas impróprias, nocivas ou ofensivas para à saúde pública, tóxicas para a fauna e a flora, danosa à segurança e ao consumo. Além disso, o mau uso da água compromete sua capacidade de renovação, prejudicial para o abastecimento público. Por conta disso, sua qualidade é tema de discussões em todos os países.

"A Organização das Nações Unidas (ONU) divulgou uma nota com uma previsão de que até 2050, aproximadamente 45% da população não terá a quantidade mínima de água" (FREITAS, s.d.). No Brasil, segundo levantamento da Fundação SOS Mata Atlântica (2020), a água é ruim ou péssima em 40% dos 96 rios, córregos e lagos avaliados em sete estados brasileiros. Devido ao aumento da população, há a necessidade da expansão da agricultura e de setores da indústria, que avançam sem o devido planejamento, causando a contaminação de todo um ecossistema.

No Brasil o gerenciamento das águas internas é realizado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), criada em 2000 com a função de regular e planejar os recursos hídricos, realizar o monitoramento e apoiar a gestão hídrica dos Estados. Em 2013 a ANA criou a Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade das Águas (RNQA), para padronizar e ampliar o monitoramento quantitativo e qualitativo a nível nacional. Segundo a ANA (2021), existem aproximadamente, em nível estadual, 2.400 pontos de monitoramento da qualidade da água, o que representa uma densidade de 0,26 ponto/1.000km² para o país. Em comparação a densidade de outros países como a Espanha (2,55 pontos/1.000km²), França (1,96 ponto/1.000km²) e Canadá (0,8 ponto/1.000km²), a densidade nacional é baixa.

Considerando a importância da água para a sociedade e os riscos que os ecossistemas aquáticos correm devido às atividades humanas e seu uso inconsequente, e o descaso de eliminações de esgoto, lixos e materiais tóxicos, se cria a motivação para esse projeto de desenvolvimento de uma plataforma computacional de monitoramento para auxiliar técnicos e pesquisadores na coleta de dados de rios, lagos e reservatórios de água para guiar as ações públicas e sociais de preservação e recuperação ambiental.

Além dessa motivação provocada pela poluição abrangente das águas brasileiras, também se destaca a motivação provocada pelas lacunas geográficas e temporais observadas nos monitoramentos realizados por cada Estado. E a razão dessa problemática são os custos para se fazer a análise dos corpos d'água que se dão principalmente pela logística do processo de coleta, armazenamento e transporte das amostras (ANA, 2021). Visto que na etapa de coleta são necessários diversos itens de segurança individuais e coletivos, como aventais, botas, coletes salva vidas, além de amostradores, barcos, sistemas de radiocomunicação, GPS, sinalizadores de fumaça e outros diferentes itens para assegurar uma coleta segura e eficiente (CETESB, 2011). As coletas geralmente são feitas em locais de difícil acesso com vegetação alta, ou locais acidentados que aumentam a probabilidade de acidentes dos técnicos com equipamentos sensíveis, como frascos de vidros e reagentes de preservação. Nesse contexto, a proposta da plataforma de monitoramento é de ser um dispositivo controlado de forma remota capaz de realizar medições *in situ* e ao mesmo tempo realizar a coleta de água, promovendo uma alternativa mais econômica e segura para os profissionais da área. Como "cérebro" da plataforma foi escolhido um microcontrolador de *software* livre que foi integrado a uma balsa para medição de temperatura, turbidez e potencial hidrogeniônico (pH), coleta de água por meio de uma bomba de água e armazenamento em um recipiente. Os objetivos específicos do projeto são: estudar sobre os indicadores de qualidade da água, delimitar quais parâmetros devem ser coletados pela plataforma, realizar revisão bibliográfica, projetar a plataforma, modelar, simular o funcionamento, e implementar o sistema.

Este artigo está dividido em introdução, referencial teórico, materiais e métodos, resultados alcançados, conclusões finais acerca da finalização do projeto e bibliografias usadas como referência. É abordada no referencial teórico as leis que regem a qualidade da água, seu monitoramento e avaliação, assim como as tecnologias que foram usadas para desenvolvimento do projeto.

## 2 | REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Monitoramento das Águas

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) criada pela lei nº 9.984/2000 para fazer cumprir os objetivos e diretrizes da Política Nacional de Recursos

Hídricos (PNRH), desenvolveu o Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA) para ampliar o monitoramento em nível nacional e estabelecer padrões de coleta de dados, frequência de amostragem e análise de parâmetros das águas brutas. O PNQA estipula a medição de 4 parâmetros básicos aferidos *in situ*, por meio de sondas multiparâmetros. São eles: o Potencial Hidrogeniônico (pH), a Temperatura, o Oxigênio Dissolvido (OD) e a Condutividade. Porém, apenas esses parâmetros não são suficientes para uma avaliação completa da qualidade da água. Assim, as práticas de monitoramento da qualidade de corpos d'água incluem junto à coleta de dados, a amostragem de água de locais específicos, feitos em um intervalo regulado de tempo para que seja possível realizar a comparação e definir as condições presentes atuais da água do local escolhido (ANA, 2021).

Há diversas propostas que podem ser adotadas para se realizar um programa de monitoramento e cada uma deve considerar a delimitação geográfica do local de amostras, a frequência, quais parâmetros serão observados, se há dados antigos do local, fontes de poluição presentes, finalidade daquele corpo d'água e outras informações que auxiliem no planejamento e na verificação custo/benefício do estudo que será realizado (MATTHIENSEN et al., 2014). Nesse contexto é importante ressaltar que quanto mais dados são necessários mais se agrega valor ao monitoramento, seja pelo uso de sondas multiparâmetros sofisticadas, aumentando seu valor comercial, ou pela logística de coleta, armazenamento e preservação de amostras que demandam grandes recursos financeiros dependendo da localidade da coleta, da quantidade de pessoas e da dificuldade de acesso ao local. Em razão deste alto valor agregado ao monitoramento, muitos estados que não possuem condições financeiras interrompem o monitoramento de suas águas, causando lacunas geográficas e temporais de monitoração (ANA, 2021).

A ANA (2021) define quatro configurações de monitoramento, sendo elas o monitoramento Básico, o Inventário, a Vigilância e a Conformidade. O protótipo proposto neste projeto auxilia técnicos e pesquisadores em duas dessas configurações, sendo elas, o monitoramento Básico e a Vigilância. O monitoramento básico é realizado de forma periódica em locais estratégicos, para acompanhamento dos parâmetros da água entre seus ciclos hidrológicos e identificação de tendências, a fim de estipular a necessidade de maior detalhamento do local. E o monitoramento de Vigilância é realizado em tempo real para verificação de parâmetros básicos como pH, temperatura e oxigênio dissolvido, em locais de extrema importância para o uso humano e em locais que possuem tendências de poluição. Assim, analisado os parâmetros básicos estipulados e constatando a poluição, ou alteração físico-química do local, se faz necessário um estudo mais detalhado a partir da análise de outros parâmetros que permitam avaliar as mudanças da qualidade da água (MENDONÇA, 2016), dessa forma o protótipo atua na coleta de dados de pH e temperatura em tempo real, e se necessário o operador da BALSANET poderá fazer a coleta de água

para análise mais detalhada.

## 2.2 Índice de Qualidade da Água

Diversos indicadores são usados para avaliar a qualidade dos corpos d'água, dependendo para qual uso está destinado. Para a CETESB (2019), os índices possuem três principais vantagens que são a facilidade de comunicação com o público leigo, o *status* maior que os dados isolados e a média de várias variáveis em um único valor e unidade. O mais importante índice usado pela ANA é o Índice de Qualidade Das Águas (IQA) que foi criado em 1970, nos Estados Unidos, pela *National Sanitation Foundation,* e a partir de 1975 foi utilizado pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), depois sendo adotado por outros Estados, e hoje é o principal indicador de qualidade da água utilizado no país (ANA, 2021).

O IQA é usado principalmente para avaliação da qualidade da água para o abastecimento público. É incorporado a ele nove parâmetros definidos como essenciais, cada qual com seu peso de importância para o cálculo produtório ponderado do valor do IQA. Os nove parâmetros são o oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio – DBO 5,20, temperatura, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e resíduo total, classificados como mostrado na tabela 1.

| Categoria | Ponderação |
|---|---|
| **ÓTIMA** | $79 < IQA \leq 100$ |
| **BOA** | $51 < IQA \leq 79$ |
| **REGULAR** | $36 < IQA \leq 51$ |
| **RUIM** | $19 < IQA \leq 36$ |
| **PÉSSIMA** | $IQA \leq 19$ |

Tabela 1 – Classificação do IQA

Fonte:CETESB, 2019.

Como não há um padrão nacional, essa faixa de valores estipulados na Tabela 1 para indicação da qualidade da água varia de Estado para Estado, sendo este apresentado o do Estado de São Paulo.

Embora seja usado para avaliação da qualidade da água de abastecimento público, a ANA (2020) afirma que há uma limitação desse índice porque ele não considera outros parâmetros importantes como substâncias tóxicas, protozoários patogênicos e substâncias que mudam as propriedades organoléptica da água. "Os parâmetros utilizados no cálculo do IQA são em sua maioria indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos" (ANA,2021).

## 2.3 Padrões de Amostragem

Há algumas características da água que não podem ser aferidas *in situ* devido a necessidade de técnicas mais complexas de análise que necessitam de laboratórios especializados, como acontece com alguns parâmetros físico-químicos e biológicos. Apenas os parâmetros de temperatura, turbidez, pH e OD apresentam soluções tecnológicas de sensores capazes de realizar suas medições nos locais de estudo. Devido a isso se faz necessário a coleta de amostras de água para analise. No Brasil não havia regras e padrões para realização de coleta e análise de água, o que era problemático, pois mais de uma entidade pública ou privada é responsável pelo monitoramento das águas internas, o que causava discrepâncias entre dados retirados de um mesmo corpo d'água que passava por Estados diferentes. Porém, em 2011 a CETESB em parceria com a ANA, seguindo um dos objetivos do PNQA, criaram o Guia Nacional de Coleta e Preservação de amostras. Neste guia estão especificados os conceitos básicos para se realizar um planejamento de um programa de amostragem, os equipamentos usados para coleta de amostras, técnicas de preservação e armazenamento e os requisitos para o controle do processo de amostragem (ANA e CETESB, 2011).

Na etapa de coleta de amostras, é definido qual tipo de amostragem será usada, que segundo o Guia Nacional de Coleta e Preservação de amostras (ANA e CETESB, 2011) pode ser a amostra simples, que é realizada num único local em um único instante, a amostra composta, que é realizada em diferentes pontos de amostragem em um determinado período e misturadas, e a amostra integrada. Na definição do tipo de amostra que será coletado é necessário também decidir a profundidade de coleta, podendo ser superficial ou de profundidade (abaixo de 0,3 m da lâmina d'água). Nesse contexto, o sistema proposto neste projeto pretende atender a amostragem simples e composta numa distância de 0,4 m abaixo da superfície.

Na etapa de preservação, segundo a CETESB (2011) não é possível garantir 100% de estabilidade das amostras, mas ainda sim a escolha adequada de frascos, forma de armazenamento e técnicas de preservação retardam a degradação biológica, as mudanças químicas, as alterações fisiológicas, morfológicas e de densidades populacionais, em todas as etapas do estudo. No Guia Nacional de Coleta e Preservação de amostras (ANA e CETESB, 2011) são definidos 3 técnicas mais usuais de preservação de amostras, o congelamento, a refrigeração e a adição química, que é o método mais conveniente para a preservação de amostras e sua adição pode ser de forma prévia ou imediata pós-coleta para manter a estabilidade do sistema. Devido a sua facilidade de implementação é a técnica recomendada para uso junto a BALSANET, enquanto congelamento e refrigeração são técnicas que demandam o uso de sistemas tecnológicos complexos não planejados para esse projeto. Para armazenamento das amostras são indicados 2 tipos de recipientes, o plástico autoclavável de alta densidade e o vidro borossilicato ou neutro. O recipiente

de plástico apresenta as vantagens de ser mais resistente, leve, barato e em comparação com o vidro tem menor adsorção de íons de metais, porém são difíceis de serem limpos e esterilizados, e nem todos os estudos aceitam a coleta com esse material. Por conta disso, é recomendado no protótipo trabalhar com os recipientes de plástico, pois garantirá maior segurança para as amostras coletadas e manterá o protótipo leve, conforme proposta de ser uma plataforma de fácil manuseio e transporte. Para o protótipo, a fim de garantir dimensões pequenas que facilitem o manuseio, são suportados frascos de até 1 L.

## 2.4 Sistema Ciber Físico

Os avanços tecnológicos das últimas décadas promoveram o desenvolvimento de diversos equipamentos, dispositivos e sistemas eletrônicos embarcados complexos que podem ser usados por diferentes tipos de desenvolvedores com diferentes orçamentos. Nesse contexto, um dos critérios para desenvolver o protótipo foi o uso de matérias de baixo custo, conforme Figura 1.

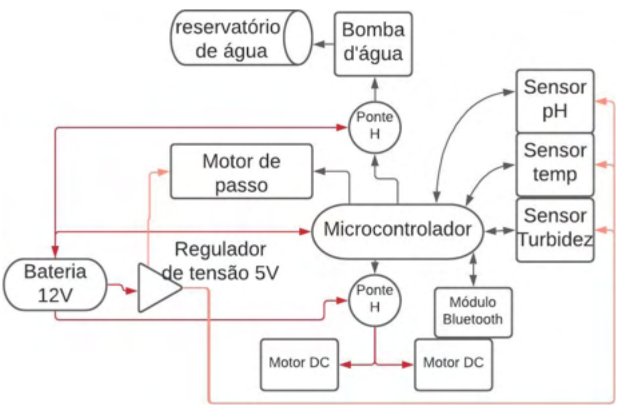



Figura 1 – Mapa conceitual

Fonte: Própria do autor

A plataforma possui um microcontrolador como o cérebro que controla os dispositivos externos a ele, como os sensores, para coleta de dados dos parâmetros estipulados no IQA, e atuadores, para movimento da BALSANET e coleta de água para posterior estudo.

## 2.5 Protocolo de comunicação IEEE 802.15.1 (*Bluetooth*)

O *Bluetooth*, também especificado como IEEE 802.15.1 é uma tecnologia de redes sem fio que faz comunicação através de baixas frequências de rádio. Desenvolvida em 1994, pela empresa Ericsson, inicialmente com o intuito de interconectar equipamentos de telefonia móvel, como fone de ouvido, através de uma tecnologia com baixo consumo de energia e baixo custo (MEDEIROS, 2008). A comunicação via *bluetooth* é a mais viável

para o projeto devido a proposta de usar telefones celulares para controle da embarcação e esses já terem um módulo *bluetooth* acoplado, assim, facilitando a conexão entre a plataforma e o aplicativo de celular.

### 2.6 Módulo *Driver* Ponte H

O Módulo *Driver* Ponte H é um circuito eletrônico utilizado para controlar a velocidade e sentido de giro de motores CC, controlando a tensão do terminal da armadura utilizando sistemas inversores baseados em eletrônica de potência. Esse tipo de controle é denominado modulação por largura de pulso (PWM-*Pulse Width Modulation*) (UMANS, 2014). Usando o microcontrolador como o sistema que envia o sinal de controle, é possível controlar os atuadores do protótipo, controlando sua velocidade e sentido de giro.

### 2.7 Estrutura do Barco

O catamarã é uma embarcação que possui 2 cascos unidos por uma plataforma de comando e pode assumir uma variedade de propulsões. Por causa dos seus dois cascos, diferente das embarcações convencionais "monocascos", ele possui maior estabilidade e isso faz com que eles sejam mais confiáveis e seguros, sendo quase 0 a possibilidade desta embarcação virar (SILVA et al., 2014; FERNANDES, 2016). Essas características do catamarã o tornaram viável como escolha para a estrutura da BALSANET, pois a proposta do projeto é ser usado em rios, lagos e reservatórios que podem ser rasos, ou estreitos ou agitados e sua estrutura estável e leve garantem segurança para as coletas de dados e amostras em diferentes ambientes.

## 3 I MATERIAIS E MÉTODOS

A proposta do projeto surgiu como uma ideia simples de um protótipo de baixo custo, no valor de até R$ 1.000,00 reais, que pudesse auxiliar técnicos e pesquisadores de diversas regiões do Brasil no monitoramento dos rios, lagos e reservatórios, visto que além de apresentar baixa qualidade de água, o Brasil, também apresenta problemas para realizar o monitoramento delas. Nesse contexto, foi proposto um mapa conceitual para guiar o desenvolvimento do protótipo, sendo ele gradualmente melhorado com o avanço do projeto.

O próximo passo foi realizar uma pesquisa com o foco em microcontroladores presentes no mercado capazes de serem o cérebro da nossa embarcação, sendo escolhido o modelo Arduino Leonardo R3. Optou-se por desenvolver o aplicativo de telefones móveis na plataforma *App Inventor,* que é um ambiente de programação intuitivo que se utiliza de uma ferramenta fundamentada em blocos para facilitar o desenvolvimento de aplicativos complexos para *smartphones* e *tablets* em muito menos tempo que outros ambientes de programação tradicionais (MIT, 2021).

Estabelecido o sistema de controle, os dispositivos de aquisição de dados e coleta de amostras, foi realizado um estudo sobre motores CC e foi definido que 2 motores serão usados na plataforma, pois foi analisado que o uso de um motor acarretaria no uso de um leme para direcionamento do barco, enquanto 2 não se faz necessário e garante mais força à embarcação. Para dimensionar os motores, primeiro foi preciso estipular o peso de todo o sistema em quilogramas, propor a velocidade da embarcação em metros por segundo e definir o raio em metros desejável da hélice dos motores. Com esses dados foi possível calcular o RPM total dos motores, usando a equação 1:

$$RPM = 60 \cdot \text{velocidade}/\text{perímetro da hélice} \qquad (1)$$

Depois foi calculado a potência (P) do motor para atingir a velocidade projetada, segundo equação 2:

$$P = \text{força} \cdot \text{velocidade} \qquad (2)$$

Em que a força é dada em newton (N), massa em quilogramas (Kg) e a potência P em watt (W). E por último foi calculado o Torque (τ) total, segundo equação 3:

$$T = (P \cdot 60)/(2\pi \cdot RPM) \qquad (3)$$

Em que o torque é dado por N.m. Com esses dados obtidos foi realizada uma pesquisa de motores disponíveis comercialmente que pudessem atender a essas especificações. Com essa etapa concluída foi elaborada uma Prova do Conceito da BALSANET apresentada na Figura 2.

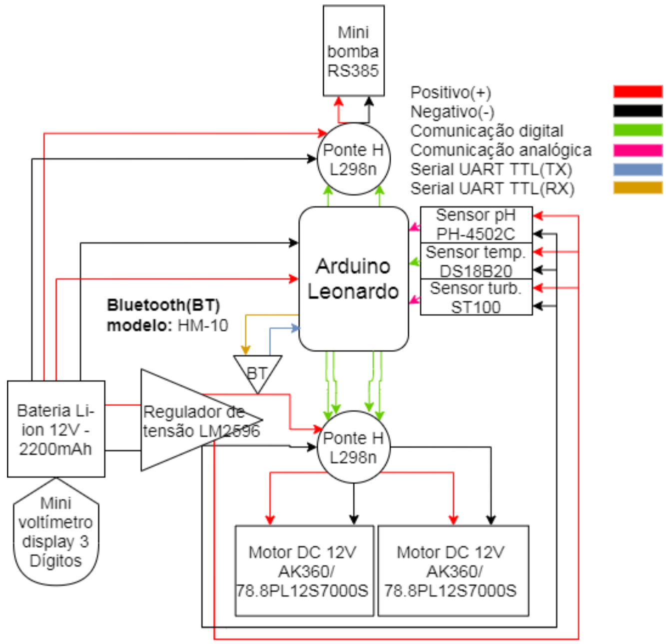



Figura 2 - Prova do Conceito BALSANET.

Fonte: Próprio do autor.

Com o diagrama esquemático desenvolvido, foi possível simular a disposição de todos os componentes eletrônicos da BALSANET como uma representação da realidade para auxiliar no processo de desenvolvimento do protótipo.

A etapa seguinte foi determinar o modelo do barco. Há diferentes modelos, cada qual com vantagens e desvantagens, mas no caso desse projeto o modelo catamarã foi o escolhido para abrigar o sistema eletrônico. Para seu dimensionamento foi necessário determinar alguns parâmetros e calcular outros, sendo 2 parâmetros iniciais importantes que é o Lwl, do inglês *waterline length*, que é o comprimento do casco na interface da água, e o Loa, do inglês *length for all*, que é o comprimento da proa até a popa. Outro parâmetro que deve ser estabelecido é o LBr, que é a razão entre o comprimento e a largura, e dependendo da escolha o barco tem certas vantagens e desvantagens. Com esses dados definidos, usa-se a equção 4 para determinar a largura, na linha da água, Bwl, do inglês *beam*:

$$Bwl=Lwl/LBr \qquad (4)$$

Bwl e Lwl são dados em centímetros. Outro dado que Oliveira (2013) afirma ser importante calcular é a profundidade submersa de projeto Tc, que é determinado pelo

coeficiente BTr, que deve ser definido conforme desejado, porém recomenda-se utilizar no intervalo de 1,5 a 2,8. Assim, Tc é calculado pela equação 5:

$$Tc=Bwl/BTr \tag{5}$$

Tc é dado em centímetros. Com esses dados obtidos foi possível modelar em 3D a embarcação usando o *software Sketchup*, conforme apresentado na Figura 3.

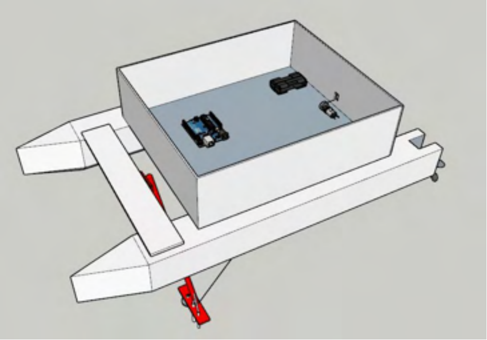
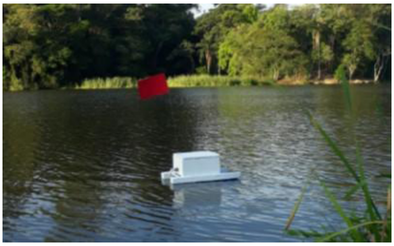


Figura 3 - Modelo 3D BALSANET.

Fonte: Próprio do autor.

Definido o sistema eletrônico e dimensionado o barco, a próxima etapa foi a realização da codificação do sistema ciber físico. O primeiro passo foi testar separadamente cada componente junto ao arduino fazendo-os funcionar isoladamente. O passo seguinte foi a integração gradual de todos os componentes ao arduino, verificando possíveis conflitos na programação e consertando erros. Em paralelo foi construído a embarcação usando como material o poliestireno para prover flutuabilidade e fibra de vidro para proteção e impermeabilidade. Finalizadas as duas atividades, integrou-se o sistema *ciber* físico à embarcação, assim sendo possível realizar os testes de campo. O primeiro teste de campo foi para averiguar o funcionamento do controle remoto da direção da embarcação por meio do aplicativo, sendo realizado na piscina, conforme Figura 4, visto que é um ambiente seguro caso houvesse problemas e na figura 5, já um teste de campo para corrigir erros e adicionar novas funcionalidades no aplicativo e ainda, testado todo o conjunto ciber físico da BALSANET.

Figuras 4 e 5 - Primeiro teste de campo e último teste de campo, respectivamente.

Fonte: Própria do autor.

## 4 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado do projeto obteve-se o protótipo, conforme Figura 6, da plataforma computacional multiparâmetros controlada remotamente para monitoramento da qualidade de águas superficiais, apelidado de BALSANET.

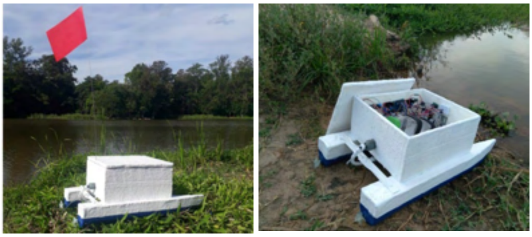


Figura 6 - BALSANET

Fonte: Própria do autor.

O protótipo está funcionando conforme o planejamento, sendo possível controlá-lo por meio de um aplicativo móvel desenvolvido na plataforma app inventor, a uma distância de 60 metros, valor menor do que consta nas especificações técnicas do módulo HM-10.

Na Figura 7 é apresentado o *layout* do aplicativo, que conta com duas interfaces que se sobrepõem, impedindo o acesso simultâneo a elas pelo usuário, uma medida de segurança adotada para impedir possíveis acidentes que poderiam ocorrer se o usuário movimentasse a embarcação com a haste abaixada. Além disso, nesta interface também é possível controlar a velocidade do protótipo que atinge até 0,38 m/s. Para habilitar a interface de sensores e amostrador, Figura 7, é preciso descer a haste, conforme Figura 8, clicando no botão descer.




Figura 7 - Aplicativo BALSANET

Fonte: Própria do autor.

Como uma forma de proteção, o aplicativo desabilita o botão subir na *interface* de direção e desabilita o botão descer na interface de sensores e amostrador, impedindo que o usuário force a haste além de sua capacidade de movimento.

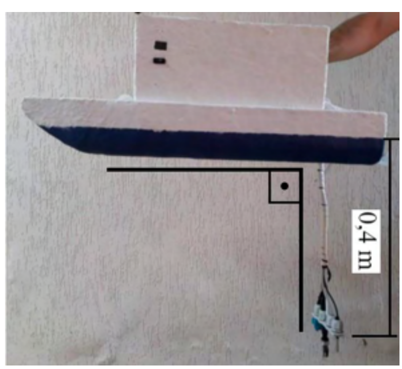



Figura 8 - Sensores em operação

Fonte: Própria do autor.

Uma vez posicionado os sensores num ângulo de 90º graus e a uma profundidade de 0,4 m em relação à superfície da água, é liberado o botão para acionar a leitura dos

sensores, imprimindo-os na tela e salvando-os num banco de dados. Nesse modo também é liberado o botão “pegar amostra de água” que aciona a bomba d’água por 40 s para encher o frasco, que para testes, Figura 9, foi usado um de plástico de 900 ml, podendo ser substituído a depender do estudo, visto que o recipiente não é fixado na embarcação. Na interface de sensores e amostrador, o botão “exportar dados” faz a exportação e o salvamento de todas as leituras dos 3 sensores numa planilha, conforme Figura 10.

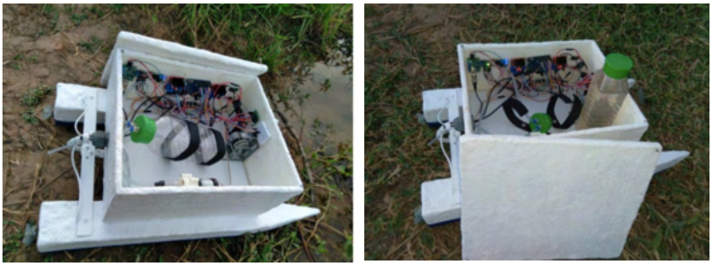
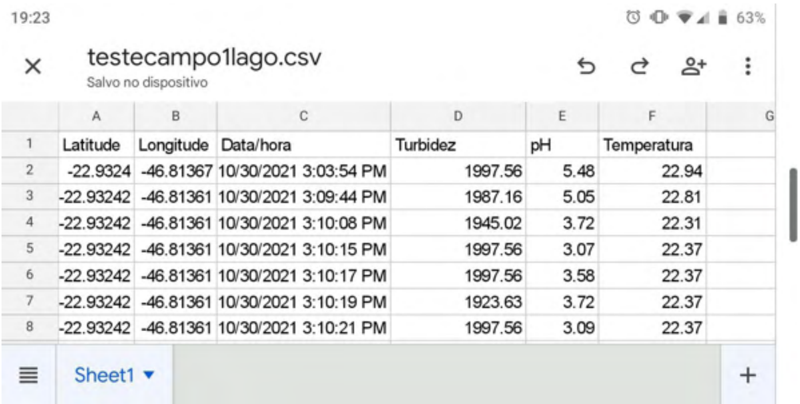


Figura 9 - Sistema de amostragem d’água

Fonte: Própria do autor.



19:23 63%

testecampo1lago.csv

Salvo no dispositivo

| | A | B | C | D | E | F | G |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Latitude | Longitude | Data/hora | Turbidez | pH | Temperatura | |
| 2 | -22.9324 | -46.81367 | 10/30/2021 3:03:54 PM | 1997.56 | 5.48 | 22.94 | |
| 3 | -22.93242 | -46.81361 | 10/30/2021 3:09:44 PM | 1987.16 | 5.05 | 22.81 | |
| 4 | -22.93242 | -46.81361 | 10/30/2021 3:10:08 PM | 1945.02 | 3.72 | 22.31 | |
| 5 | -22.93242 | -46.81361 | 10/30/2021 3:10:15 PM | 1997.56 | 3.07 | 22.37 | |
| 6 | -22.93242 | -46.81361 | 10/30/2021 3:10:17 PM | 1997.56 | 3.58 | 22.37 | |
| 7 | -22.93242 | -46.81361 | 10/30/2021 3:10:19 PM | 1923.63 | 3.72 | 22.37 | |
| 8 | -22.93242 | -46.81361 | 10/30/2021 3:10:21 PM | 1997.56 | 3.09 | 22.37 | |

Sheet1

Figura 10 - Dados exportados

Fonte: Própria do autor.

Uma vez lidos os sensores, o aplicativo salva as informações no banco de dados com a localização do celular e a hora da leitura.

Para realizar um ciclo de monitoração, desde levar a embarcação até o ponto desejado e seu retorno à margem do lago, são necessários 440s, sendo assim, a BALSANET terá autonomia para realizar com segurança 12 ciclos de monitoramento ou operar por 5280 segundos (1 h e 28 min), conforme listado na Tabela 3.

| Passos | Tempo (s) | Consumo (A) | | | Descrição |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Sistema | Motores | Total | |
| Posicionar BALSANET | 120,00 | 0,23 | 1,18 | 1,41 | Propulsão |
| Abaixar sensores | 50,00 | 0,23 | 0,00 | 0,23 | Motor de passo |
| Realizar medições | 10,00 | 0,23 | 0,00 | 0,23 | Sensores |
| Coletar água | 40,00 | 0,23 | 0,40 | 0,63 | Mini-Bomba |
| Subir sensores | 100,00 | 0,23 | 0,00 | 0,23 | Motor de passo |
| Retornar BALSANET | 120,00 | 0,23 | 1,18 | 1,41 | Propulsão |
| Total | 440,00 | | | | |

Tabela 3 - Ciclo de monitoração

Fonte: Própria do autor.

## 5 | CONCLUSÃO

O projeto BALSANET foi concluído conforme a proposta de ser uma plataforma computacional multiparâmetros para a medição da temperatura, numa faixa de -10 ºC a 85 ºC, medição do pH, numa faixa de 0 a 14 pH, e para a medição da turbidez da água de 0 a 3000 NTU, além disso, possui a funcionalidade de coletar e armazenar até 1L de água e um sistema de propulsão para mover a embarcação até o local a ser monitorado. Seu controle é todo realizado remotamente, por meio de um aplicativo de telefonia móvel, por um usuário a até 60m da embarcação. Mesmo com algumas modificações e adaptações feitas durante o processo de desenvolvimento, principalmente para baratear o protótipo, o projeto atingiu os objetivos propostos. Porém, é fato que para se tornar um produto comercial alguns ajustes e verificações precisam ser feitos, como a precisão e exatidão dos sensores, algo não proposto para esse projeto.

O gasto para o desenvolvimento do protótipo foi de R$ 1.144,01, passando 14,4% do orçamento de R$ 1.000,00, porém ainda assim, se comparado a sondas multiparâmetros que realizam a mesmas medições, sem os sistemas de propulsão, coleta de água e controle remoto presentes no protótipo, ele ainda pode ser considerado de baixo custo e vantajoso para os profissionais da área.

A ideia do projeto sempre foi ser um protótipo adaptável, então alguns pontos de melhoria podem ser acrescentados em projetos futuros, como adição de sensores que medem outros parâmetros de qualidade da água, a exemplo do sensor de Oxigênio Dissolvido, implantação de um sistema de GPS na embarcação para melhorar a precisão dos dados gerados ou mesmo para automatizar e um sistema de resfriamento para as amostras. Logo, com a base consolidada por esse projeto o protótipo permite diversas

mudanças futuras para melhor atender aos estudos que serão realizados com ele.

## REFERÊNCIAS


ANA. **Indicadores de qualidade** - índice de qualidade das águas (IQA). Portal da qualidade das águas, disponível em:http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#, acesso em 29/4/2021.

ANA. **Monitoramento da qualidade da água em rios e reservatórios:** Unidade 5 - Procedimentos metodológicos para coleta em campo, disponível em: https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2227/5/Unidade_5.pdf, acesso em 29/4/2021.

ANA. **O que é PNQA?**. Portal da qualidade das águas, disponível em: http://pnqa.ana.gov.br/pnqa.aspx, acesso em 1/5/2021.

ANA. **Rede nacional -** Introdução. Portal da qualidade das águas, disponível em: http://pnqa.ana.gov.br/rede-nacional-introducao.aspx, acesso em 29/4/2021.

ANA; CETESB. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras**: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

BRASIL. **Institucional**. Ministério do desenvolvimento regional, disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/acesso-a-informacao/instituciona, acesso em 23/4/2021.

CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**: Apêndice D - Índices de Qualidade das Águas. São Paulo: CETESB, 2019.

CETESB, 2020.**Apêndice D: Índice de Qualidade das Águas**, disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2020/09/Apendice-D-Indices-de-Qualidade-das-Aguas.pdf, acesso em 21/5/2021.

CETESB.**Temperatura da água**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. São Paulo. 2021, disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/temperatura-da-agua, acesso em: 21/5/2021.

CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional de Meio Ambiente-CONAMA**; disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcda_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf, acesso em 22/4/2021.

FERNANDES, Frederico Oliveira. **Projeto e Dimensionamento de um Catamarã em Materiais Compósitos**. 2016. 89p. Dissertação (Mestrado de Bolonha em Engenharia e Arquitectura Naval) - Técnico Lisboa, Lisboa. 2016.

FREITAS, Eduardo de. **Água potável**. Brasil Escola, disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/geografia/agua-potavel.htm, acesso em 22/4/2021.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **OBSERVANDO OS RIOS:** O Retrato da Qualidade da Água em rios da região Sul e Sudeste do Bioma Mata Atlântica. São Paulo: SOS mata atlântica, 2014.

**GPS** – *Global Positioning System*. Embrapa, disponível em: https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/gps, acesso em: 26/5/2021.

MIT app Inventor. Disponível em: https://appinventor.mit.edu/about-us. Acesso em: 10/6/2021

INPE. **Estações do ano**. Centro de previsão do tempo e estudos climáticos. Brasil, 2019, disponível em: http://clima1.cptec.inpe.br/estacoes/pt#, acesso em: 22/5/2021.

MATTHIENSEN, Alexandre; KLOCK, Adriana Lídia Santana; BEDENDO, Gizelle Cristina; MARTINI, Rosemari. **Monitoramento e Diagnóstico de Qualidade de Água Superficial**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

MEDEIROS, Marcello. **Bluetooth News:** Sistema de distribuição de conteúdo jornalístico via conexão Bluetooth. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciências da Comunicação, 31, 2008, Natal.

MENDONÇA, Angela Maria. **Confiabilidade dos parâmetros monitorados em águas por sonda multiparâmetros**. 2016. 87p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2016.

NOWACKI, Carolina de Cristo Bracht; RANGEL, Morgana Batista Alves. **Química ambiental:** conceitos, processos e estudo dos impactos ao meio ambiente. 1. ed. São Paulo: Editora Érica, 2014.

OLIVEIRA, André Schneider de; ANDRADE, Fernando Souza de. **Sistemas embarcados -** Hardware e Firmware na prática. 2. ed. São Paulo: Editora Érica, 2010. 320p.

**pH – Potencial Hidrogeniônico**. Digimed: Instrumentação analítica, 2017, disponível em: https://www.digimed.ind.br/br/noticias/noticia.aspx?cod=33, acesso em 2/5/2021.

PNQA. **Indicadores de qualidade** - Índice de qualidade das águas (IQA). Portal da Qualidade das águas. Brasil, 2013, disponível em: http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx, acesso em 23/4/2021.

SILVA, Henrique José da;MARANGONI, Antônio Carlos; SANTOS, Alan Bueno. Projeto e Construção de um barco movido à energia solar. In: *CONEM – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica,* 8, 2014, Uberlandia. **Anais eletrônicos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas, 2014. p. 1216 - 1226.

UMANS, Stephen D. **Máquinas Elétricas de Fitzgerald e Kinsley**. tradução: Anatólio Laschuk 7. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda., 2014. p. 436.

# CAPÍTULO 5

# NOVO MÉTODO DE SUPRIMENTO DE ELETROPOSTOS A PARTIR DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

**Fernando Luciano de Almeida**
Universidade São Francisco
Itatiba – SP
http://lattes.cnpq.br/6664362186737199

**Julio Cesar Galves Gomes Mangini Mosqueiro Junior**
Universidade São Francisco
Itatiba – SP
http://lattes.cnpq.br/1041327198929666

**Annete Silva Faesarella**
Universidade São Francisco
Itatiba - SP
http://lattes.cnpq.br/8546620295718065

**Vicente Idalberto Becerra Sablón**
Universidade São Francisco
Itatiba - SP
http://lattes.cnpq.br/6350047853320576

**RESUMO:** O artigo traz uma nova metodologia para a melhor distribuição de EVCS (EVCS - *Electric Vehicle Charging Station* - Estação de Recarga de Veículo Elétrico) em rodovias, primando por fontes renováveis de energia para o suprimento delas. A geração de energia escolhida foi a fotovoltaica dada a disponibilidade de irradiação solar no Brasil. Todo o método foi elaborado com fundamentação em dados fornecidos pela concessionária da rodovia Fernão Dias (Arteris), que liga Guarulhos SP à Contagem MG, rodovia tal que foi tomada como exemplo para os cálculos necessários ao desenvolvimento do método, podendo ser aplicado em qualquer outra rodovia. Ressalta-se que o método de distribuição das EVCS aqui apresentado, trata-se de algo inovador e vantajoso, uma vez que utiliza as estruturas já existentes dos postos de gasolina, tanto para o suprimento de energia das estações como para sua instalação. Apresenta-se também o rendimento de cada uma destas estações de recarga.

**PALAVRAS-CHAVE:** Veículos elétricos. Infraestrutura. Estação de recarga. Sistema fotovoltaico. Rodovia.

## NEW METHOD OF CHARGING STATION SUPPLY FROM PHOTOVOLTAIC ENERGY

**ABSTRACT:** The paper presents a new methodology for the better distribution of EVCS (Electric Vehicle Charging Station) on highways, focusing on renewable energy sources for their supply. The chosen energy generation was photovoltaic system, due to availability of solar irradiation in Brazil. The entire method was based on data provided by the concessionaire of the Fernão Dias highway (Arteris), which connects Guarulhos SP to Contagem MG, a highway that was taken as an example for the calculations necessary for the development of the method, and can be applied to any other highway. It is noteworthy that the EVCS distribution method presented here is innovative and advantageous, since it uses the existing structures of gas stations, both for the energy supply of the stations and for their installations. The performance of each of these charging stations is also presented.

**KEYWORDS:** Electric vehicles. Infrastructure.

Charging station. Photovoltaic system. Highway.

## 1 | INTRODUÇÃO

O setor de transporte é considerado um dos mais importantes para a economia do país, o que o torna um dos setores que mais impactam na criação e desenvolvimento de novas tecnologias. Esse setor também é um dos principais responsáveis pela emissão de poluentes atmosféricos, sendo os veículos rodoviários, responsáveis por cerca de 72% das emissões globais (WANG & GE, 2019).

Tendo em vista esse contexto, uma tecnologia que vem se popularizando cada vez mais são os veículos elétricos (EV - *Electric Vehicles*) e veículos híbridos (HEV - *Hybrid Electric Vehicle*). Os EVs reduzem as emissões de GEE em 80% e os HEV puros em 55% (VONBUN, 2015).

No exterior os EVs estão cada vez mais comuns, principalmente nos Estados Unidos e na Europa, onde essa tecnologia está caminhando para se tornar cada vez mais predominante. Na Europa, com o objetivo de restringir as emissões de $CO_2$ um novo regulamento proposto pela Assessoria Sobre Normas de Emissões de Veículos (AGVES - *Advisory Group on Vehicle Emission Standards*) prevê um limite de emissões bem mais rigoroso para o EURO-7, norma que regula as emissões nocivas dos transportes rodoviários, que entra em vigor em 2025. Se esse regulamento for empregado poderá levar ao banimento dos carros a combustão a partir de 2025 na região (CESAR, 2020).

No Brasil o cenário é diferente, a tecnologia ainda está em sua fase inicial e com muitas dificuldades para se estabelecer no país. A falta de locais de recarga pública para EVs é um dos problemas para a popularização dessa tecnologia em território nacional, pois com a falta de infraestrutura os consumidores se sentem inseguros quanto a autonomia dos EVs e optam pelos veículos à combustão interna, desestimulando as empresas a investir em EVs. De acordo com o estudo Cidades Inteligentes de 2019, feito pela agência de pesquisa de mercado *Hello Research* com o apoio da Prefeitura de São Paulo e da *General Motors*, 82% da população declara que compraria um EV caso sua cidade oferecesse pontos de recarga suficiente (SARAGIOTTO, 2020).

A integração dessa infraestrutura com fontes de geração limpa faz parte do plano mínimo de desenvolvimento da Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE) (ABVE, 2020). Nesse sentido, a geração fotovoltaica é a mais prática para ser implementada dada sua eficiência e compactação.

Tendo em vista este cenário, o artigo tem por objetivo realizar um estudo da implementação de EVCS alimentados por energia fotovoltaica ao longo da rodovia Fernão Dias, que interliga Guarulhos, São Paulo, com Contagem, Minas Gerais. Foi realizada uma projeção dos EVCSs calculando a relação de área de painéis solares por EV a ser

carregado diariamente, fazendo com que seja um projeto adequado ao local de instalação. Com o eletroposto dimensionado e projetado, parte-se para o estudo dos locais na rodovia Fernão Dias com bons pontos para a instalação desses EVCSs, levando em consideração a incidência solar e a distância entre os postos. Foram consideradas as estruturas pré existentes para abastecimento de ICV que podem ser adaptadas para a recarga de EVs.

## 2 I REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Veículos Elétricos

Os "Veículos elétricos (VEs ou EVs, da sigla em inglês *Electric Vehicles*) são aqueles que utilizam um ou mais motores elétricos, em parte ou completamente, para propulsão." (DELGADO et al, 2017, p. 15).

De maneira abrangente, os EVs podem ser divididos principalmente em três categorias: EV Puro ou BEV (*Battery Electric Vehicle* - Veículo Elétrico a Bateria); EV Híbrido Puro ou HEV (*Hybrid Electric Vehicle* - Veículo Elétrico Híbrido); PHEV *(Plug-In Hybrid Electric Vehicle* - Veículo Elétrico Híbrido com Conector, em tradução livre). Este trabalho trata dos BEVs, uma vez que se trata do modelo que mais sofre com a falta de infraestrutura devido ao uso exclusivo de energia elétrica para o carregamento das suas baterias elétricas.

De forma geral os BEVs podem ser recarregados de duas maneiras: condutiva ou indutiva. Na carga indutiva é necessário uma estação de recarga que através de indução eletromagnética realiza a recarga da bateria. (VALLE, 2015). O modelo de recarga por indução é visto mais como uma alternativa para o futuro dos EVs, atualmente ainda não é um modelo comercialmente abrangente. Porém, para acelerar a padronização desse modelo a SAE *International* (*Society of Automotive Engineers International* - Sociedade de Engenheiros da Mobilidade Internacional) emitiu os padrões SAE J2954 e SAE J2846/7, referentes à transferência de energia entre a placa de carregamento e a bateria do carro e aos protocolos de comunicação para o carregamento sem fio (BARONTINI, 2020).

O modelo de carga por condução é o mais amplamente utilizado devido a sua praticidade, nele é utilizado o contato físico para realizar a transferência de energia, podendo ser realizado em tomadas convencionais ou estações de recarga (VALLE, 2015).

### 2.2 Conectores para a recarga de Veículos Elétricos

Atualmente são cinco os principais padrões de conectores que vêm sendo utilizados internacionalmente: Tipo 1 (Estados Unidos da América), Tipo 2 (Europa e Brasil), CHAdeMO (Japão), CCS (Estados Unidos da América, Europa e Brasil) e GB/T (China).

A Tabela 1 apresenta uma comparação entre os valores suportados pelos conectores.

| CONECTOR | ALIMENTAÇÃO | CORRENTE MÁXIMA | POTÊNCIA |
|---|---|---|---|
| **TIPO 1** | Monofásico | 32 A | 3 kW até 7,4 kW |
| **TIPO 2** | Monofásico | 16 A | 3 kW até 43 kW |
| | Trifásico | 63 A | |
| **CHAdeMO** | DC | 125 A | Até 62,5 kW (Com suporte a até 400 kW) |
| **CCS** | AC | - | Até 350 kW |
| | DC | - | |
| **GB/T** | AC | 32 A | 3,5 kW até 14 kW |
| | DC | 250 A | 50 kW até 187,5 kW |

Tabela 1 – Comparação entre os conectores.

Fontes: SCHNEIDER ELECTRIC, 2021. ENEL X, 2019. GB STANDARDS, 2021.

## 2.3 Tipos de carregamento

Os pontos de recargas de EVs são divididos atualmente em quatro modos diferentes referentes a sua potência e utilização. São eles: **modo 1- Carregamento lento**: utiliza a tomada doméstica comum com corrente AC e com o conector padrão brasileiro. É utilizado para bicicletas e *hoverboards.* Não é recomendado para recarga de EVs por não possuir sistema de proteção adequado. Possui um tempo de recarga de 6 a 8 horas; **modo 2-Carregamento lento**: utiliza um sistema elétrico monofásico com potência até 3,7 kW. O veículo é conectado em uma caixa tomada específica. Diferencia-se do modo 1 por possuir um sistema de proteção, o que permite o carregamento de EVs, porém só é recomendado para carros de porte pequeno. Possui um tempo de recarga de 6 a 8 horas; **modo 3-Carregamento semirrápido**: conecta-se o veículo a uma caixa chamada *wallbox* que contém o sistema de alimentação, com proteção para o veículo e para a rede, é utilizado a corrente AC. Possui um tempo de recarga de 3 a 4 horas e por fim, o **modo 4-Carregamento rápido**: utilizado por estações de recarga em média tensão com corrente DC. Considerado de alta potência, fornece ao veículo uma média de 50 kW de potência, podendo realizar uma carga de 80% da bateria em meia hora. São instaladas em dois padrões: CHAdeMO e CCS (SIQUEIRA, 2020).

## 2.4 Sistema Fotovoltaico

A produção da Energia Fotovoltaica é fundamentada na transformação de irradiação solar em energia elétrica, por meio de células (BRITO e SILVA, 2006).

As células fotovoltaicas são organizadas em série em um painel com uma média de 28 a 36 células, cada uma gera, em condições de iluminação normal, tensões entre 0.5 e 1 V e corrente de dezenas de miliamperes, com o painel gerando tensão DC na ordem dos 12 V. Um sistema de painéis pode ser montado em série ou paralelo dependendo se a aplicação necessita de corrente ou tensão mais elevada (BRITO e SILVA, 2006). Como a

energia gerada pelos painéis é em formato DC, surge a necessidade de transformá-la em AC em diversos casos, para isso são utilizados inversores de frequência para realizar essa transformação.

Existem duas formas de se usar o sistema fotovoltaico em relação à rede externa de distribuição: *On-Grid* e *Off-Grid*. No modo *On-Grid* o sistema é conectado na rede externa de energia. A energia gerada pelos painéis passa por um inversor DC/AC, alimentando diretamente as cargas e toda geração excedente é injetada na rede, assim sendo, quando a geração maior que o consumo, a energia excedente vai para a rede gerando créditos ao dono do sistema, de acordo com a resolução normativa ANEEL (482/2012). Com isso, esse tipo de modelo é dispensado a utilização de bateria (BORTOLOTO et al, 2017).

No modo *Off-Grid* o sistema é totalmente desconectado da rede, fazendo-se necessário o uso de baterias para armazenar a energia em momentos em que o consumo é menor que a produção energética, assim conseguindo aproveitar essa energia em momentos em que a geração seja menor que o consumo (BORTOLOTO et al, 2017).

## 3 | METODOLOGIA

Com a popularização dos EVs no exterior torna-se questão de tempo para que a tecnologia também se popularize em território nacional, porém aliada com o alto preço da tecnologia uma grande dificuldade para quem se interessa por esses veículos é a falta de infraestrutura no país. Este artigo trata de um projeto de implantação de eletropostos supridos por energia fotovoltaica em uma das principais rodovias do país a fim de atender uma grande demanda de veículos elétricos, esperada para os próximos anos.

As EVCS serão *on-grid,* diretamente ligados a rede de distribuição.

A Rodovia escolhida para a elaboração do projeto foi a Fernão Dias, nome que se dá ao trecho da BR-381 com 562 km de extensão que liga Contagem-MG à Guarulhos-SP, sob a concessão da Arteris, sendo a principal conexão entre duas das maiores metrópoles do País, São Paulo e Belo Horizonte (Arteris, 2021) e os veículos tomados como modelo para o projeto são os veículos leves puramente elétricos (BEVs), pois são os mais impactados pela falta de infraestrutura.

Para a implantação dos eletropostos considera-se o aproveitamento da base estrutural já existente na rodovia, foram escolhidos pontos com postos de gasolina já existentes. Foi feito um mapeamento dos postos da rodovia Fernão Dias utilizando ferramentas do *Google Maps* de satélite e visão da rua para localização dos postos, o sentido da rodovia em que se encontram e medir a área aproximada de seus telhados, usando outra ferramenta da plataforma, informação importante na escolha dos postos para a implantação dos painéis solares. Foram identificados 78 postos de abastecimento de combustíveis fósseis pelo percurso da Fernão Dias, desconsiderando postos dentro das

regiões metropolitanas de Belo Horizonte e São Paulo, destes 78 postos, 43 estão no sentido de Belo Horizonte (sentido norte), enquanto 36 estão no sentido de São Paulo (sentido sul).

Para o cálculo da autonomia média dos veículos elétricos a ser utilizada para o dimensionamento dos eletropostos foi levado em consideração a lista com os BEVs mais baratos disponíveis atualmente no Brasil, elaborada por Camila Torres (2021) e publicada no site Mobiauto. Os veículos utilizados para determinar a autonomia média foram os de menor preço da lista. Foi levado em consideração também a disponibilidade das informações técnicas do veículo. A Tabela 2 detalha o padrão do conector, a capacidade da bateria e a autonomia e padrão do ciclo de testes de cada veículo. As informações de cada veículo foram retiradas dos sites de seus respectivos fabricantes.

| **Modelo** | **JAC iEV20** | **Novo Renault Zoe E-Tech Zen** | **JAC iEV40** | **Nissan Leaf** | **Chevrolet Bolt Premier** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Preço [1]** | R$ 159.900,00 | R$ 204.990,00 | R$ 189.900,00 | R$ 277.990,00 | R$ 274.000,00 |
| **Conector** | GB/T | CCS 2 | Tipo 2 | Tipo 1 e Tipo 2 | CCS 2 |
| **Bateria** | 41 kWh | 52 kWh | 40 kWh | 40 kWh | 66 kWh |
| **Autonomia** | 300 km (NEDC) | 385 km (WLTP) | 300 km (NEDC) | 270 km (WLTP) | 416 km (EPA) |

Tabela 2 – Comparação entre os modelos de BEVs mais econômicos disponíveis no mercado brasileiro.

[1] Cotação do dólar na data em que a matéria citada foi publicada no site Mobiauto(23/04/2021): R$5,4967.

Fontes: JAC MOTORS, 2019; RENAULT, 2021; NISSAN, 2021; MOBIAUTO, 2021; CHEVROLET, 2021.

Para o dimensionamento do projeto utilizou-se o valor de autonomia do Nissan Leaf, o menor da lista. Para a simplificação dos cálculos aproxima-se para 250 km, aproximadamente 6,25 km/kWh.

Para dimensionar o projeto em questão utiliza-se a estação de recarga *WEMOB Station* da WEG, que foi desenvolvida principalmente para uso em rodovias. Escolhe-se o modelo WEMOB-S-060-E-H-1T2-1CS-1CH e suas informações técnicas podem ser observadas na Tabela 3.

| | | |
|---|---|---|
| **GERAL** | **Modelo** | WEMOB-S-060-E-H-1T2-1CS-1CH |
| | **Conectores** | CHAdeMO, CCS2 e Tipo 2 |
| **ENTRADA** | **Tensão de alimentação** | 380 V AC ±10 % (3F+N+PE) |
| | **Frequência** | 60 Hz ±5% |
| | **Corrente máxima de entrada** | 181 A |
| | **Potência máxima consumida** | 118 kW |
| | **Tipo de ligação de entrada** | 0,98 de 50 a 100% de carga |
| | **Eficiência** | 95% |
| **SAÍDA** | **Potência máxima de saída** | 43 kW AC<br>60 kW DC |
| | **Tensão de saída AC** | Conforme variação admissível para a rede de alimentação (-15% e +10%) |
| | **Tensão de saída DC** | De 150 V até 1.000 V DC (CCS-2)<br>De 150 V até 500 V DC (CHAdeMO) |

Tabela 3 – Especificações técnicas da EVCS WEMOB *Station*

Fonte: WEG, 2020.

Devido ao alto consumo da EVCS opta-se por um sistema fotovoltaico com uma alta potência por área ocupada, devido a isso, escolhe-se o painel ODA450-36-M da marca OSDA, que tem eficiência de 20,75% e gera 450 W. Na Tabela 4 estão as informações técnicas do painel.

| | |
|---|---|
| **Modelo** | ODA450-36-M |
| **Potência** | 450 Wp ± 3 W |
| **Eficiência do módulo** | 20,75 % |
| **Coeficiente de temperatura da potência** | -0,37 %/°C |
| **Dimensão do painel** | 2150 x 1050 x 60 mm |

Tabela 4 – Especificações técnicas do painel fotovoltaico da marca OSDA.

Fonte: ENF Solar, 2021.

Na instalação de um sistema fotovoltaico deve-se considerar as perdas locais, sendo utilizados para seu cálculo, cinco fatores genéricos atribuídos à cada perda, sendo elas: **sombreamento e poeira** (perda referente a obstrução da luz do sol sofrida pelo sistema, ocasionada pela sombra por exemplo uma árvore, ou por poeira excessiva. Sombras de nuvens não são consideradas nessa perda. Varia de 1% a 5%); ***mismatch*** (perda devido à diferença de produção de dois módulos fotovoltaicos ligados em série, causada pelo

uso de modelos diferentes, ângulos diferentes ou sombras parciais. Varia de 1% a 5%); **cabeamento DC** (perda que ocorre durante a condução da energia em corrente contínua, pois quanto maior a distância maior a perda. Varia de 1% a 7%); **cabeamento AC** (tem o mesmo princípio da perda anterior porém para energia em corrente alternada. Varia de 1% a 7%) (Academia do Sol, 2021), e por fim a **temperatura** .Para o cálculo da perda é utilizado a equação 1:

$$C_{temp} = C_{mod} \times (2T_{amb} - T_{ref}) \qquad (1)$$

Em que $C_{temp}$ é a perda por temperatura do sistema, $C_{mod}$ é o coeficiente de temperatura da potência da placa, dado em porcentagem de perda por graus Celsius, e $T_{amb}$ e $T_{ref}$ são respectivamente a temperatura ambiente e a temperatura de referência.

"A irradiação solar, dada em kWh/m$^2$dia, é a magnitude da energia por unidade de área de radiação solar incidente em uma superfície colocada em um local e intervalo de tempo bem especificados" e é de extrema importância para o cálculo do rendimento do sistema, pois é um dos fatores que determinam a localização dos postos de recarga. (PLANAS, 2019).

## 4 | RESULTADOS

O rendimento do sistema é dado pelo produto da potência gerada pela placa (450W, conforme Tabela 4), da irradiação e das perdas do sistema (conforme a Tabela 5).

Para determinar o valor da perda por temperatura ($C_{temp}$) foi utilizado a equação (2), onde $T_{ref}$ é uma constante igual a 25 °C e $C_{mod}$ é igual a 0,37 %/°C, conforme a Tabela 4.

Para determinar o valor de $T_{amb}$ foi utilizado a média dos valores de temperatura máxima absoluta registrados entre 1981 e 2010 nas regiões próximas à rodovia Fernão Dias, conforme dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021). O valor de $T_{amb}$ é de 36,4°C.

$$C_{temp} = C_{mod} \times (2T_{amb} - T_{ref}) \qquad (2)$$

$$C_{temp} = 0{,}0037 \text{ x } (2{,}0000 \text{ x } 36{,}4000 - 25{,}0000) = 0{,}1769$$

Para o cálculo do rendimento foram considerados valores máximos para as demais perdas, a fim de determinar o pior cenário, de acordo com a equação 3.

$$Rendimento = 0{,}4500 \times Irradiação \text{ x } (1{,}0000 - 0{,}10000 - 0{,}1400 - 0{,}1769) \qquad (3)$$

$$Rendimento = 0{,}4500 \times Irradiação \times 0{,}5831$$

$$Rendimento = 0{,}2624 \times Irradiação \text{ [kWh]}$$

A Tabela 4 apresenta também as dimensões da placa: 2150 x 1050 mm, o equivalente a uma área de aproximadamente 2,26 m².

O valor do total de energia gerada em função da área disponível para a instalação dos painéis e da irradiação é dado pela equação 4.

$$Energia = 0{,}116 \times Irradiação \times Área \text{ [kWh]} \quad (4)$$

O modo de recarga rápida (15 minutos) foi considerado ideal para ser utilizado na rodovia e se limita a carregar somente 80% da bateria. Devido a isso, será considerado uma distância máxima de 200 km entre as EVCS.

Após o mapeamento, os postos foram divididos em blocos de 50 km, sendo o primeiro no início do trajeto estudado e os subsequentes iniciando 150 km após o anterior, assim sendo, escolhendo um posto por bloco, tem-se EVCS suficientes para percorrer o trajeto da rodovia respeitando a distância máxima estabelecida.

Depois da divisão em blocos, foi escolhido o posto de maior área de telhado dentro de cada bloco, assim tendo a disponibilidade para instalação de uma maior número de placas fotovoltaicas para a geração de energia. Nas tabelas 6 e 7 pode-se ver os locais escolhidos de cada bloco destacados para o sentido São Paulo e para o sentido Belo Horizonte respectivamente. Utilizando a equação 4 é possível determinar o rendimento energético dos postos selecionados, esses valores são demonstrados na tabela 8.

| Bloco | Nome do Posto | Área Telhado [m²] | KM | UF |
|---|---|---|---|---|
| Bloco 1 (KM 509 à 559) | Posto 500 | 1168 | 509 | MG |
| | Posto Dom Pedro Itatiaiuçu | 797 | 534 | MG |
| | Auto Posto Rodochaves | 1065 | 547 | MG |
| Bloco 2 (KM 659 a 709) | Posto 358 II | 179 | 667 | MG |
| | Posto Crossville | 958 | 677 | MG |
| | Posto Petrobras | 641 | 685 | MG |
| | Posto Sandrele | 846 | 692 | MG |
| Bloco 3 (KM 809 a 859) | Posto Minas Gerais | 993 | 817 | MG |
| | Posto Capixaba | 898 | 825 | MG |
| | Rodo Posto Bela Vista | 596 | 842 | MG |
| | Posto Petrobras | 570 | 850 | MG |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bloco 4 (KM 20 a 70) | Auto Posto Brasil Grill | 102 | 25 | SP |
| | Posto Rede Frango Assado | 576 | 29 | SP |
| | Auto Posto Ultramarino | 314 | 40 | SP |
| | Posto 22 | 1007 | 50 | SP |

Tabela 6 – Postos selecionados no sentido São Paulo.

Fonte: Próprio autor, 2021.

| Bloco | Nome do Posto | Área Telhado [m²] | KM | UF |
|---|---|---|---|---|
| Bloco 1 (KM 90 à 40) | Posto 67 da Fernão | 578 | 67 | SP |
| | Petrograal | 964 | 62 | SP |
| | Posto 22 | 888 | 50 | SP |
| | Posto Petrobras BR | 693 | 44 | SP |
| Bloco 2 (KM 889 a 839) | Posto Dom Pedro Cambuí | 917 | 888 | MG |
| | Posto Dom Pedro Cascudo | 411 | 877 | MG |
| | Posto Servsul | 682 | 869 | MG |
| | Posto Dom Pedro II | 2849 | 868 | MG |
| | Posto Ravena | 1204 | 842 | MG |
| Bloco 3 (KM 739 a 689) | BR Petrobras | 433 | 734 | MG |
| | Posto Novo Rio | 925 | 727 | MG |
| | Auto Posto Garitão | 707 | 703 | MG |
| | Posto Shell | 558 | 691 | MG |
| Bloco 4 (KM 589 a 539) | Posto Shell | 366 | 589 | MG |
| | Posto Alvorada da Serra | 647 | 564 | MG |
| | Posto Labareda | 660 | 562 | MG |
| | Auto Posto Vale Verde | 1330 | 547 | MG |

Tabela 7 – Postos selecionados no sentido Belo Horizonte.

Fonte: Próprio autor, 2021.

Foi considerado o valor de 40 kWh para o tamanho da bateria de cada EV, referente ao valor médio de bateria dentre os veículos mais populares. Para o cálculo do número médio de EVs que podem ser recarregados pela EVCS foi considerado a razão entre a energia gerada pelo sistema fotovoltaico e 80% do valor médio de bateria, devido ao modo de recarga.

Para determinar a irradiação foram utilizados os dados retirados do site do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB, 2021).

| Sentido | Nome Do Posto | Cidade | Área do Telhado [m²] | Irradiação [kWh/M² por Dia] | Energia [kWh] | Nº Médio Veículos / Dia |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BH | Petrograal | Mairiporã - SP | 964 | 4,63 | 517,75 | 16 |
| BH | Posto Dom Pedro II | Pouso Alegre - MG | 2849 | 4,79 | 1.583,02 | 49 |
| BH | Posto Novo Rio | Carmo da Cachoeira - MG | 925 | 4,86 | 521,48 | 16 |
| BH | Auto Posto Vale Verde | Itatiaiuçu - MG | 1330 | 5,03 | 776,03 | 24 |
| SP | Posto 500 | São Joaquim de Bicas - MG | 1168 | 5,13 | 695,05 | 21 |
| SP | Posto Crossville | Perdões - MG | 958 | 4,97 | 552,31 | 17 |
| SP | Posto Minas Gerais | Careaçu - MG | 993 | 4,85 | 558,66 | 17 |
| SP | Posto 22 | Atibaia - SP | 1007 | 4,78 | 558,36 | 17 |

Tabela 8 – Rendimento energético dos eletropostos.

Fonte: Próprio autor, 2021.

A tabela 9 demonstra os dados fornecidos pela Arteris, a concessionária da rodovia Fernão Dias, referentes a média mensal de veículos que trafegam nas praças de pedágio destacadas da rodovia, de acordo com o mês de agosto de 2021.

| Localização do Pedágio | Média Mensal de Veículos |
|---|---|
| Itatiaiuçu | 273.000 |
| Santo Antônio do Amparo | 211.000 |
| São Gonçalo do Sapucaí | 252.000 |
| Mairiporã | 1.550.000 |

Tabela 9 – Média mensal do tráfego de veículos pelas praças de pedágio da rodovia Fernão Dias.

Fonte: Dados fornecidos diretamente pela Arteris Fernão Dias, 2021.

Considerando que o mês de agosto possui 31 dias e que o percentual de veículos de passeio que trafegam pela rodovia Fernão Dias é de 65,2% (ARTERIS, 2021) é possível determinar uma média diária de fluxo de veículos. A Tabela 10 demonstra a comparação percentual entre o número médio de veículos que são possíveis de serem recarregados por dia pelas EVCS (apresentados na Tabela 8) em relação à média diária de veículos que trafegam pela rodovia na região.

| Localização do Pedágio | Média Diária de Veículos | Relação Veiculos Recarregados / Tráfego [%] |
|---|---|---|
| Itatiaiuçu | 5742 | 0,71 [40 EVs] |
| Santo Antônio do Amparo | 4438 | 1,49 [66 EVs] |
| São Gonçalo do Sapucaí | 5300 | 0,62 [32 EVs] |
| Mairiporã | 32600 | 0,11 [35 EVs] |

Tabela 10 – Média mensal do tráfego de veículos pelas praças de pedágio da rodovia Fernão Dias.

Fonte: Cálculos feitos utilizando dados fornecidos diretamente pela Arteris Fernão Dias, 2021.

Na Tabela 10, a porcentagem é dada pela relação entre o número entre colchetes pela média diária de pedágio.

## 5 | CONCLUSÃO

O trabalho aqui apresentado traz um novo método para a distribuição de EVCS em rodovias. O método prima pela energia renovável para o suprimento de energia das EVCS, seguindo os requisitos do programa Rota 2030 (ME, 2020).

Todo método foi fundamentado em dados fornecidos pela concessionária da rodovia Fernão Dias (Arteris), que liga Guarulhos - SP à Contagem - MG, rodovia tal que foi tomada como exemplo para os cálculos necessários ao desenvolvimento do método, podendo ser aplicado em qualquer outra rodovia.

Uma das maiores vantagens do método aqui proposto é a utilização de estruturas já existentes na rodovia para a instalação da geração fotovoltaica que irá suprir as EVCS. Outra vantagem é a utilização do sistema *on grid*, que mantém o sistema recebendo um suporte da rede para funcionar em momentos de pico de consumo e/ou baixa produção de energia.

Esse trabalho abre caminho para estudos futuros sobre o detalhamento do futuro fluxo de EVs em rodovias no Brasil para estações de recarga conseguirem se adaptar melhor aos locais onde são instaladas para receber a demanda e pesquisas sobre componentes para a melhoria da eficiência da produção de energia por área de instalação.

## REFERÊNCIAS


ABVE. (2020). **PLANO MÍNIMO DE DESENVOLVIMENTO,** disponível em http://www.abve.org.br/pmd/, acesso em 29/4/2021.

ACADEMIA DO SOL. **Fatores de Perda em Sistemas Fotovoltaicos**, disponível em: http://academiadosol.com.br/blog/fatores-de-perda-em-sistemas-fotovoltaicos/, acesso em 15/6/2021.

ARTERIS. **Fernão Dias**. Fonte: Arteris, disponível em: https://www.arteris.com.br/rodovias/fernao-dias/, acesso em 15/6/2021.

BARONTINI, F. (23 de Outubro de 2020). **Carregamento sem fio é o futuro dos carros elétricos e já tem padronização.** Tradução de Julio Cesar, disponível em: https://insideevs.uol.com.br/news/450558/carregamento-sem-fio-carros-eletricos-padrao-sae/, acesso em 22/6/2021.

BORTOLOTO, V. A., SOUZA, A., GOES, G., MARTINS, M. A., BERGHE, M. J. & MONTANHA, G. K. (2017). **GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR ON GRID E OFF GRID**, disponível em: http://www.jornacitec.fatecbt.edu.br/index.php/VIJTC/VIJTC/paper/view/1069/1234, acesso em: 25/5/2021.

BRITO, M. C. & SILVA, J. A. (2006). **Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em electricidade[1]**,Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, disponível em: http://solar.fc.ul.pt/i1.pdf, acesso em: 11/5/2021.

CESAR, J. (20 de Novembro de 2020). **União Europeia pode 'apertar' a regra e banir carros a combustão já em 2025**, disponível em: https://insideevs.uol.com.br/news/455456/uniao-europeia-proibir-carros-gasolina-diesel-2025, acesso em: 13/4/2021.

CHEVROLET. **Bolt EV**, Disponível em: https://www.chevrolet.com.br/eletrico/bolt-ev, acesso em: 22/6/2021.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. (2021). **Potencial Solar - *SunData* v3.0**, Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata, acesso em: 14/9/2021.

DELGADO, F., COSTA, J., FEBRARO, J. & SILVA, T. **CARROS ELÉTRICOS**. 7 ed. Rio de Janeiro: FGV Energia. 2017, disponível em: https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/caderno_carros_eletricos-fgv-book.pdf, acesso em:18/5/2021.

ENEL X. (20 de Abril de 2019). ***The Different EV Charging Connector Types,*** disponível em: https://evcharging.enelx.com/resources/blog/552-ev-charging-connector-types, acesso em 4/5/2021.

ENF SOLAR. (2021). **ODA-72LM 410-450**, disponível em: https://www.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/47652. Acesso em 9/11/2021.

GB STANDARDS. ***China National Standards Service Center***, disponível em: http://www.gbstandards.org, acesso em: 22/6/2021.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DO BRASIL**, disponível em: https://portal.inmet.gov.br/normais, acesso em 10/8/2021.

JAC MOTORS. (2019). **JAC iEV20**, disponível em: https://www.jacmotors.com.br/veiculos/eletricos-detalhes/iev20, acesso em: 16/6/2021.

ME - Ministério da Economia. **ROTA 2030 - MOBILIDADE E LOGÍSTICA**, disponível em: https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br/assuntos/competitividade-industrial/setor-automotivo/rota-2030-mobilidade-e-logistica, acesso em: 26/10/2021.

NISSAN. (2021). **NOVO NISSAN LEAF AUTONOMIA E RECARGA**, disponível em: https://www.nissan.com.br/veiculos/modelos/leaf/autonomia-recarga.html, acesso em 22/6/2021.

PLANAS, O. (4 de Fevereiro de 2019). **O que é irradiação solar**, disponível em: https://pt.solar-energia.net/que-e-energia-solar/radiacao-solar/irradiacao-solar, acesso em 17/6/2021.

RENAULT. (2021). **Ficha Técnica NOVO RENAULT ZOE E-TECH**, disponível em: https://www.renault.com.br/veiculos-eletricos/zoe/ficha-tecnica.html, acesso em 24/6/2021.

SARAGIOTTO, D. (2 de Março de 2020). **App interliga pontos de abastecimento para carros elétricos do Brasil**, disponível em: https://mobilidade.estadao.com.br/mobilidade-para-que/empreender/app-interliga-pontos-de-abastecimento-para-carros-eletricos-do-brasil/, acesso em 13/4/2021.

SCHNEIDER ELECTRIC. (18 de Janeiro de 2021). ***Electric Vehicle and EV charging fundamentals***, disponível em: https://www.electrical-installation.org/enwiki/Electric_Vehicle_and_EV_charging_fundamentals, acesso em 26/5/2021.

SIQUEIRA, C. (6 de Junho de 2020). **COMO A INSTALAÇÃO DE ESTAÇÕES E PONTOS DE RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS DEVE SER FEITA**, disponível em: https://omsengenharia.com.br/blog/estacao-de-recarga-de-veiculos-eletricos/, acesso em 26/5/2021.

TORRES, C. (23 de Abril de 2021). **Os 10 carros elétricos mais baratos à venda no Brasil**, disponível em: https://www.mobiauto.com.br/revista/os-10-carros-eletricos-mais-baratos-a-venda-no-brasil/764, acesso em 17/6/2021.

VALLE, H. (Agosto de 2015). **APLICAÇÃO DO CONCEITO VEHICLE-TO-GRID PARA NIVELAMENTO DE CARGA E SUPRIMENTO DE PICO DE DEMANDA**, disponível em: http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10015208.pdf, acesso em 13/5/2021.

VONBUN, C. (Agosto de 2015). **IMPACTOS AMBIENTAIS E ECONÔMICOS DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS PLUG-IN: UMA REVISÃO DA LITERATURA**, disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5328/1/td_2123.pdf, acesso em 23/4/2021.

WANG, S. & GE, M. (21 de outubro de 2019). **Transporte é a fonte de emissões que mais cresce. Veja o que dizem os números,** disponível em: https://wribrasil.org.br/pt/blog/2019/10/transporte-fonte-de-emissoes-que-mais-cresce-entenda-em-cinco-graficos, acesso em 29/4/2021.

WEG. (2020). **WEMOB Estações de Recarga para Veículos Elétricos**, disponível em: https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h2e/hff/WEG-estacoes-de-recarga-de-veiculos-eletricos-WEMOB-50094133-pt.pdf, acesso em 10/11/2021.

# CAPÍTULO 6

# ESTUDO DA RECUPERAÇÃO DE SOLVENTES NA PRODUÇÃO DE ADESIVOS

**Leonardo Dorigo de Almeida**
Universidade São Francisco
Bragança Paulista – SP

**Samyra Haryele Gimenes Silva**
Universidade São Francisco
Bragança Paulista – SP

**Monica Tais Siqueira D'Amelio**
Universidade São Francisco
Bragança Paulista – SP
http://lattes.cnpq.br/0347184334616712

**RESUMO**: O processo de produção de adesivos PSA envolve solventes orgânicos que emitem compostos orgânicos voláteis diretamente para a atmosfera, prejudicando a saúde dos trabalhadores. Neste trabalho, estudaram-se meios de recuperar esses compostos orgânicos voláteis, como a nafta, com o intuito de reduzir diminuir os impactos negativos causados ao meio ambiente e à saúde, além da melhoria no processo produtivo. Dentre os métodos estudados, identificou-se que a condensação seria o melhor método e avaliou-se sua viabilidade pelo simulador de processos DWSIM, para estimar o comportamento do solvente durante o processo. Com base nos resultados obtidos pode-se identificar que é possível realizar a recuperação da nafta na produção de adesivos PSA através da condensação, porém com algumas restrições, sendo uma delas a presença de ar no processo, o que justifica a necessidade de melhorar o processo atual com o fechamento do reator e acoplá-lo a um condensador.

**PALAVRAS-CHAVE**: Solvente, Recuperação, Adesivos, Processo.

## STUDY OF SOLVENT RECOVERY IN THE PRODUCTION OF ADHESIVES

**ABSTRACT:** The PSA adhesive production process involves organic solvents that emit volatile organic compounds directly into the atmosphere, harming the health of workers. In this work, ways to recover these volatile organic compounds, such as naphtha, were studied in order to reduce the negative impacts caused to the environment and health, in addition to improving the production process. Among the methods studied, it was identified that condensation would be the best method and its feasibility was evaluated by the DWSIM process simulator, to estimate the behavior of the solvent during the process. Based on the results obtained, it can be identified that it is possible to recover naphtha in the production of PSA adhesives through condensation, but with some restrictions, one of which is the presence of air in the process, which justifies the need to improve the process. current with the closing of the reactor and couple it to a condenser.

**KEYWORDS:** Solvent, Recovery, Adhesives, Process.

## 1 I INTRODUÇÃO

Devido a sua versatilidade, os adesivos sensíveis à pressão (PSAs, do inglês

*pressure sensitive adhesives*) são historicamente aplicados em diversas indústrias. Além das propriedades adesivas, os PSAs são formulados para atender também diversas propriedades necessárias para o produto que se destina o adesivo, como resistência à água ou solventes, degradação térmica ou por envelhecimento, a facilidade de laminação, corte, resistência ao enrugamento e flexibilidade (KORD *et al,* 1999).

Esse tipo de adesivo contém em sua composição borrachas naturais ou sintéticas, resinas, plastificantes, aditivos e antioxidantes. Na produção dos adesivos PSA, os solventes orgânicos, como o tolueno, hexano, as naftas, entre outros, são usados para permitir a interação e polimerização das borrachas, resinas, óleos e aditivos que são a base da formulação desse tipo de produto que atualmente possui alto interesse comercial. A necessidade da aplicação dos solventes existe porque esses materiais são obtidos em fardos, grãos duros ou possuem alta viscosidade, o que dificulta a homogeneização da mistura e acarreta em um tempo prolongado de polimerização, fatores que causam a perda das propriedades desejadas no adesivo produzido.

Os solventes usados são normalmente removidos pelo aquecimento do reator durante o processo de polimerização e os resíduos evaporam durante a aplicação e cura do adesivo. A evaporação do solvente gera uma grande quantidade de vapores nos ambientes onde os adesivos são produzidos e manipulados, que, quando mal controlados, podem causar acidentes, trazer problemas à saúde humana e prejuízos ao meio ambiente. Para reduzir esses riscos, as normas e órgãos regulamentadores requerem o controle sobre a exposição e manejo adequado para esses vapores, que devido às dificuldades técnicas e econômicas encontradas na recuperação e reuso são comumente descartados para a atmosfera ou destruídos.

A nafta é composta por uma complexa combinação de hidrocarbonetos saturados na faixa de 5 a 12 átomos de carbono, obtida através da destilação do petróleo bruto. A nafta oriunda da refinaria é separada em uma unidade de fracionamento por meio de três colunas de destilação em frações leve, média e pesada. A nafta média contendo hidrocarbonetos na faixa de C6-C8, passa por um processo de reforma catalítica para recuperação de compostos aromáticos leves os BTXs (benzenos, toluenos e xilenos) (PIRES, 2000).

O solvente nafta, por ser um composto orgânico volátil (COV) tende a liberar vapores facilmente, que ficam dispersos no ambiente na ausência de equipamentos de exaustão e controle de resíduos gasosos (LABOPRIME LABORATÓRIOS, 2019). A nafta é um solvente extremamente inflamável tanto no estado gasoso como no estado líquido quando expostos a fontes de ignição. Os limites de inflamabilidade ou explosividade dessa substância estão na faixa de 1,1% inferior e 5,9% superior. A temperatura de autoignição do solvente é 200ºC e a faixa de temperatura de ebulição varia entre 35 a 160ºC, devido aos diversos números de carbono. A densidade relativa encontra-se na faixa de 0,62 a 0,88 a uma temperatura de 15ºC e sua viscosidade cinemática encontra-se entre 0,4 a 0,9 $mm^2/s$ a 40ºC. Em 37,8ºC

a pressão de vapor do solvente é de 240 KPa. Em condições ambientes a 25ºC e 1 atm, o solvente nafta é um líquido incolor, possui odor característico, é imiscível em água e libera vapores inflamáveis (QUIMESP QUÍMICA, 2017).

Para diminuir a emissão de poluentes, pode-se considerar duas vertentes: o principal método aplicado atualmente para reduzir as emissões é a mudança de procedimentos e materiais. Os processos são modificados a fim de reduzir ou eliminar as etapas mais poluentes, e pode-se instalar sistemas de coleta dos resíduos gerados (KHAN, 2000). Em processos onde a redução das emissões não é possível ou é insuficiente, por falta de tecnologia ou por razões práticas e econômicas, e em indústrias onde os vapores gerados são capturados durante o processo, existe a necessidade de implementar meios de controle desses materiais (KHAN, 2000).

A recuperação dos vapores, apesar de complexa e dependente de investimentos que aumentam os custos do processo, podem ser justificadas quando se considera a economia gerada com o reaproveitamento do material e com a regularização das emissões (BAKER, 1998).

Dada a importância desses produtos na indústria química, o presente trabalho analisou meios de reduzir os problemas causados pela liberação desses vapores com a proposta da recuperação do solvente. Para isso foram analisados os principais fatores envolvidos, os métodos usados na recuperação de solventes industriais, as principais características do solvente aplicado. Após definir o melhor método de recuperação, foi realizada a simulação do processo escolhido no simulador DWSIM, onde foi possível identificar as melhores condições de recuperação.

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 Apresentação do processo atual

O processo geral de produção de adesivos PSA aplicado na indústria foi estudado com bibliografia disponível para identificação de materiais e métodos de produção. Foi aplicada a ferramenta Draw.io® na construção de um fluxograma de processos, com propósito de apresentar os equipamentos principais e o fluxo de correntes dos principais materiais aplicados no processo.

### 2.2 Comparação dos métodos de recuperação de COVs

A fim de determinar o método mais viável para recuperação do solvente nafta, foram selecionados quatro métodos de recuperação de compostos orgânicos voláteis, sendo eles a condensação, adsorção em carvão ativado, adsorção em zeólita hidrofóbica e recuperação através de membranas. Foram analisados dados apresentados em estudos realizados por outros autores, como as principais vantagens e desvantagens de cada

método de recuperação sintetizado em uma tabela.

### 2.3 Simulação do processo de condensação

Foi utilizado o simulador de processos DWSIM® para a simulação do comportamento do solvente nafta durante o processo de condensação, para avaliar os possíveis fatores que geram perdas durante a recuperação. Para isso foram empregados parâmetros de simulação encontrados em literatura publicada.

### 2.4 Estudo de caso: Sugestões de melhorias no processo

Em um processo estudado como estudo de caso de uma empresa X do setor de adesivos localizada na cidade de Bragança Paulista, foram sugeridas melhorias com o intuito de reduzir as emissões do solvente durante a produção do adesivo.

## 3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Processo produtivo

O processo produtivo de adesivo PSA apresentado é um processo base e pode ser usado para diversas aplicações em vários segmentos industriais. Os principais materiais e equipamentos utilizados nessa produção foram apresentados na Figura 1 no fluxograma de processo da produção industrial de adesivo PSA.

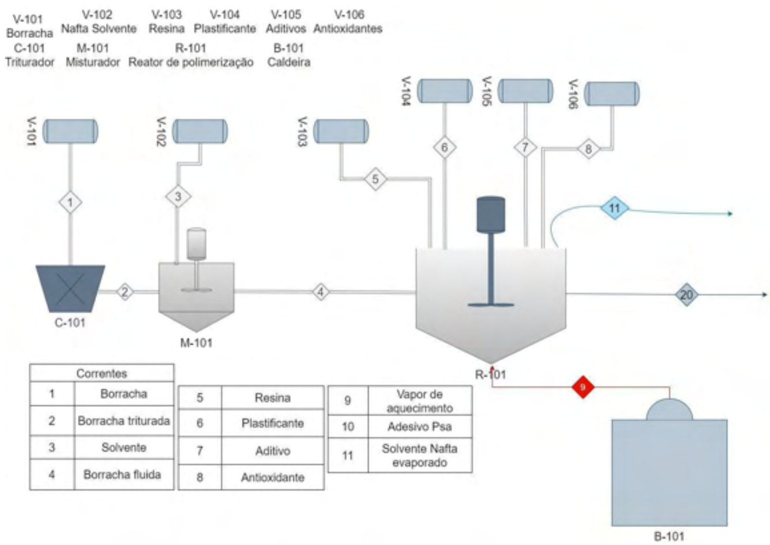



Figura 1- Fluxograma de processo produção de adesivo PSA

Fonte: Próprio autor

A primeira etapa para o processamento da borracha é a granulação realizada no

triturador. Em seguida é transferida ao misturador  onde é dispersa por meio do solvente, esse processo ocorre em temperatura ambiente.  O solvente não dissolve completamente a borracha, porém a torna fluida o suficiente para ser transferida para o reator de polimerização. O reator opera em duas fases, a primeira é a mastigação que tem como objetivo reduzir o peso molecular da  borracha por aquecimento, criando as modificações necessárias na estrutura da borracha para a realização da segunda etapa. De acordo com Benedek (2019), a temperatura dessa operação depende do tipo de borracha empregada, e o tempo reacional é uma função da temperatura e do peso molecular desejado.

Na segunda fase ocorre o processo de polimerização, onde são adicionados ao reator as resinas, antioxidantes, aditivos e plastificantes. Esses materiais se ligam à cadeia polimérica da borracha formando o adesivo. O aquecimento do reator é feito através do vapor aquecido proveniente da caldeira, que mantém uma temperatura entre 90 ºC e 200 ºC que varia de acordo com os materiais usados e das condições necessárias para obtenção das melhores características no adesivo. Segundo Benedek (2019) a homogeneização da mistura é realizada em períodos dentro de 30 minutos a uma hora. Ao final da polimerização, o adesivo é removido do reator, resfriado e, posteriormente, aplicado no produto ao qual ele se destina, na mesma indústria que o produziu, ou enviado como matéria-prima para outras indústrias.

O solvente evaporado por meio do aquecimento fica disperso no ambiente de trabalho, devido ao reator ser aberto e também à necessidade de saída desse solvente do processo, pois ele não faz parte do produto final.  Em processos atuais a nafta é aplicada preferencialmente por ser um solvente menos nocivo à saúde e à biosfera quando comparada com os demais solventes que podem ser aplicados para fundir a borracha, como o benzol (mistura de benzeno, tolueno e xileno), tolueno, xileno, aguarrás e os hidrocarbonetos clorados (CAETANO, c2010-2019).

## 3.2 Comparação dos métodos de recuperação

Dentre os métodos de recuperação existentes, os mais aplicados na recuperação de COVs são a condensação, a adsorção e a recuperação em membranas. A recuperação desses compostos além de visar a diminuição de gastos, evitando o desperdício da matéria prima que pode ser reaproveitada, também controla os níveis de emissão.

No Quadro 1 foram apresentadas as principais vantagens e desvantagens de cada método de recuperação proposto na revisão de literatura.

| | Vantagens | Desvantagens |
|---|---|---|
| Condensação [1] | - Adequado para sistemas com um único componente<br>- Alta eficiência na recuperação de COVs com alto ponto de ebulição e em altas concentrações. | -Compostos com pontos de ebulição muito baixos necessitam de condições complexas para que ocorra a condensação<br>- Risco de explosão<br>- Pode requerer a aplicação de gás inerte |
| Adsorção em carvão ativado [1,2] | - Boa capacidade de adsorção.<br>- O adsorvente é capaz de realizar novos ciclos de adsorção<br>-Baixo custo de implementação e operação | -A operação em modo contínuo necessita de mais que um leito de carvão ativado.<br>- Sistemas com alta umidade relativa são ineficientes.<br>- Risco de degradação do solvente<br>- Risco de formação de compostos insolúveis ou tóxicos. |
| Adsorção em zeólita hidrofóbica [1,3] | - Termo estabilidade.<br>- Capacidade de repelir a água.<br>-Sistemas com até 90% de umidade relativa podem ser tratados.<br>- Apresenta boa eficiência de recuperação. | - Requer alto investimento inicial.<br>- Alto custo de operação.<br>-A operação em modo contínuo necessita mais que um leito de zeólita. |
| Membrana [4] | - Mantêm separação entre os fluidos.<br>- Eficaz em médias e altas concentrações.<br>- A membrana e condições de separação podem ser otimizados para melhorar a separação.<br>-Opera na presença de umidade. | -Taxa de permeação das membranas tende a ser insuficiente para uma aplicação industrial.<br>- Dificuldade na construção da membrana.<br>- O custo de construção e operação é elevado.<br>-Requer controle contínuo das concentrações entre os dois lados da membrana.<br>-Ineficiente para sistemas descontínuos. |

Quadro 1- Principais vantagens e desvantagens dos métodos de recuperação de COVs

Fonte: [1] KHAN (2000); [2] BLOCK (2013); [3] PLOTEGHER *et al,* (2009) e [4] BAKER *et al* (1998).

### *3.2.1 Condensação*

O processo de condensação é uma técnica de recuperação que pode ser aplicada sem necessidade de materiais de alta tecnologia para seu funcionamento. Quando existente, a perda de calor sofrida pelo vapor faz com que ele passe para o estado líquido, em virtude da sua condição de saturação (KHAN, 2000). Esse processo de mudança de fase ocorre com o resfriamento ou a pressurização do fluxo de vapor. O processo de condensação pode ser usado para a recuperação de compostos orgânicos voláteis. A força impulsionadora do processo de condensação dos vapores orgânicos é a condição de saturação do vapor residual, que pode ser obtida por meio da pressurização ou resfriamento desse fluxo. Os solventes, de forma geral, são inflamáveis, portanto, é comum que os sistemas de condensação operem acima dos limites explosivos para evitar riscos de explosão dentro do equipamento, mas ainda existem riscos, uma vez que durante o processo de condensação e o período de transição do sistema, a concentração de vapor pode reduzir o suficiente e tornar-se explosiva. Uma das maneiras de reduzir esse risco é a aplicação de gás inerte (gás de proteção) nos vasos onde o processo está ocorrendo para reduzir a presença de oxigênio (KHAN, 2000).

Devido aos hidrocarbonetos serem compostos inflamáveis, é aconselhável que

os processos de condensação ocorram acima do limite inferior de explosividade, porém alguns sistemas começam a operar acima do limite superior de explosividade, e durante o processo de condensação a concentração do fluxo de vapor pode cair dentro do limite explosivo tornando o processo perigoso. Para evitar o risco de explosão quando aumenta a concentração de COVs, é necessário uso de gás inerte nos vasos de condensação, o que gera custos adicionais na operação.

Se comparado aos outros métodos de recuperação apresentado é o mais adequado para sistemas de produção que empregam somente um solvente. Normalmente o vapor recuperado é composto por ar que se mistura ao solvente durante a operação. Sendo assim, o líquido condensado é constituído de água e solvente que devem ser separados por outros processos. Na recuperação de compostos orgânicos voláteis, o processo é mais eficiente para compostos que possuem ponto de ebulição alto e alta concentração. De acordo com o estudo realizado por Khan (2000), a recuperação de COVs com concentração abaixo de 5000 ppm e com pontos de ebulição muito baixos, necessitam de temperaturas e pressurização extremas para que a condensação ocorra.

### *3.2.2 Adsorção em carvão ativado*

A adsorção é um processo onde as moléculas de uma substância são retidas em uma superfície de outra substância comumente sólida, possibilitando a captura e posterior recuperação dessas moléculas (MATOS, 2015). Esse método pode ser aplicado em processos de recuperação de vapores em baixas concentrações com o intuito de aumentar a concentração dos COVs durante a dessorção do material adsorvente. A escolha do melhor adsorvente depende do processo ao qual ele será aplicado. Normalmente para a recuperação de COVs são utilizados como adsorventes o carvão ativado e as zeólitas hidrofóbicas (KHAN, 2000). No processo de adsorção em carvão ativado para recuperação de COVs, o composto é fisicamente adsorvido. O processo apresenta vantagem por poder ser operado de modo contínuo usando diversos leitos de carvão ativado. O ar de exaustão carregado de solvente passa por um tanque recheado com o carvão ativado, o solvente fica adsorvido e o ar limpo é liberado. Quando o carvão ativado fica saturado, ou seja, não possui mais capacidade de adsorção, o ar do processo passa a ser adsorvido em outro leito. Para que ocorra a dessorção do solvente, vapor de água é injetado no adsorvente saturado, que em razão da elevada temperatura carrega consigo o solvente. Ao final do processo o adsorvente é capaz de realizar outro ciclo de adsorção, no mesmo momento em que ocorre a dessorção em outro leito.

O solvente dessorvido forma uma mistura com vapor de água e necessita passar por um processo de condensação. Posteriormente há necessidade de aplicação de outros métodos de separação para remoção da água e purificação desse solvente. Apesar de apresentar boa capacidade de adsorção em razão da sua extensa área superficial, a

eficiência do processo de adsorção em carvão ativado é afetada pela umidade. O vapor de água em temperatura ambiente compete com os compostos orgânicos voláteis pela superfície do adsorvente, os COVs possuem maior interação com o adsorvente, desta maneira a adsorção da água é energeticamente desfavorecida.

Khan (2000) apontou em seu estudo que a umidade relativa do ar afeta com mais intensidade a adsorção dos compostos halogenados e com menor intensidade os compostos aromáticos. Deste modo, unidades de recuperação de COVs por adsorção em carvão ativado que excedem 60% UR (umidade relativa) no fluxo de entrada são ineficientes. Já Block (2013) em sua análise aponta o carvão ativado como uma boa opção no controle de emissão de COVs, porém ressalta que há diversos parâmetros a serem analisados minuciosamente antes de decidir sobre o processo de adsorção, apontando desvantagens como a possibilidade da oxidação ou polimerização de alguns solventes, promovendo a formação de compostos tóxicos ou insolúveis, e o risco de inflamabilidade no uso deste adsorvente.

As zeólitas hidrofóbicas são aluminossilicatos, compostos inorgânicos cristalinos com arranjos tetraédricos tridimensionais, ligados entre si por meio do átomo de oxigênio formando subunidades. Esse material é aplicado como adsorvente alternativo no lugar do carvão ativado na adsorção de compostos orgânicos voláteis (PLOTEGHER *et al,* 2009).

A vantagem da adsorção em zeólita em relação ao carvão ativado é que sua estrutura tetraédrica confere a essa substância tamanho fixo de poros, permitindo a realização de uma adsorção seletiva que pode ser controlada através da composição da zeólita. Em razão desta característica as zeólitas também são chamadas de peneiras moleculares. O processo de separação por meio da adsorção requer difusão molecular através dos microporos, dessa maneira, só são aplicadas zeólitas em que a abertura dos poros tenha tamanhos definidos. Segundo Plotegher *et al* (2009), as propriedades termoestáveis, hidrofóbicas e não inflamáveis, são causadas pelas proporções de alumínio e silício presentes na zeólita.

Khan (2000) relata que a característica hidrofóbica das zeólitas faz com que elas tenham baixa afinidade com a água, sendo assim, sistemas com até 90% UR (umidade relativa) no fluxo de entrada podem ser tratados, sem que a umidade afete a eficiência de recuperação. Apesar de apresentar uma boa eficiência na recuperação de compostos orgânicos voláteis, o uso de peneiras moleculares no processo de adsorção exige um investimento maior de capital e eleva os custos de operação do processo.

### *3.2.3 Membrana*

Segundo Baker *et al* (1998) a separação e recuperação de vapores com uso de membrana se destaca por possibilitar a captura de vapores com eficiência mesmo em

sistemas que possuam baixa concentração inicial e possibilita alta recuperação dos compostos por meio do refluxo. Um módulo de separação pode ser projetado para operar de forma contínua, com altos volumes de vapores e de forma seletiva. A membrana também cria uma separação física entre os gases, evitando a contaminação e custos com o pós-tratamento do solvente recuperado.

O principal problema desse tipo de processo é a obtenção de membranas com permeabilidade e resistência satisfatória para os COV presentes, uma vez que a maioria dos materiais estudados para esse fim são sensíveis. Pela dificuldade de construção de um módulo eficiente, as aplicações desse método tendem para processos com altas quantidades de vapor para justificar o investimento inicial. Outra desvantagem é a necessidade do controle de concentração na entrada e saída da separação, uma vez que a eficiência do processo depende da interação do vapor na membrana, sendo melhor quando a diferença entre as faces da membrana é maior, fato que torna a recuperação em membranas menos eficiente em processos descontínuos ou com alta variação de concentração.

### 3.3 Determinação do melhor método para aplicação na indústria de PSAs

No processo de produção de adesivos, os vapores de nafta são liberados durante a polimerização do adesivo quando é feito o aquecimento, que evapora o solvente. Isso cria um sistema descontínuo, uma vez que o processo é realizado em batelada. Devido a esse fator, a implementação dos sistemas de membrana pode ser dificultada, uma vez que o processo libera quantidades variáveis de vapor, com composições dependentes das condições dentro do reator polimerizador. Outro possível problema no desenvolvimento de um módulo de separação com membranas é a presença de uma quantidade consideravelmente grande de compostos na nafta, que dificulta a escolha de um material com seletividade competitiva.

Sistemas de recuperação usando materiais adsorventes podem ser eficazes para solventes como a nafta, já que podem funcionar mesmo em regime descontínuo e possuem boa capacidade de retenção do vapor, contudo, a grande quantidade de vapor gerado durante a produção do adesivo pode criar a necessidade de leitos de volume elevado, já que o material adsorvente pode saturar. Além do custo de implementação e operação, existem despesas com o pós-tratamento do solvente recuperado.

Para leitos que empregam carvão ativado é necessário a passagem de vapor de água para dessorver o solvente, a mistura de água e solvente deve passar por outros processos para recuperação e reuso da nafta. Quando se emprega zeólitas hidrofóbicas, o ciclo de adsorção e dessorção envolve variação de temperatura (TSA), e ocorre entre duas isotermas. A etapa de adsorção opera em baixas temperaturas e a de dessorção opera em altas temperaturas, junto a passagem de gás inerte (DANTAS, 2009). Os ciclos de dessorção e adsorção, compreendendo as etapas de aquecimento e refrigeração precisam

ser iguais, o que pode afetar a capacidade do adsorvente. A aplicação de múltiplos leitos de adsorção traz flexibilidade ao processo, porém causa um aumento nos custos (WILCOX, 2012).

Nos processos onde o carvão ativado é empregado a eficiência de adsorção é afetada pela umidade relativa do ar que quando acima de 60% UR não são eficientes para recuperação do solvente, uma vez que a água e a nafta competem pela superfície de adsorção. Nos processos feitos em zeólitas hidrofóbicas isso não acontece, em virtude da capacidade que essa substância tem de repelir a água, desta forma o sistema consegue tratar unidades de recuperação com até 90% de umidade relativa sem diminuir a eficiência de recuperação.

A condensação pode ser implementada para recuperação da nafta, visto que o solvente é o único componente evaporado durante o processo e possui temperatura de ebulição acima de 35 °C, sendo possível, portanto, a condensação sem necessidade de temperaturas criogênicas no condensador. Para esse tipo de recuperação é possível trabalhar com sistemas descontínuos desde que a concentração do vapor seja alta, uma vez que em baixas concentrações o vapor pode não condensar por completo.

De acordo com a análise realizada, a condensação possui a maior compatibilidade para realizar a recuperação do solvente nafta no processo de polimerização do adesivo PSA.

### 3.4 Estudo da condensação como método de recuperação

A fim de avaliar a eficiência e viabilidade da implementação de um condensador, foi estimado, a partir de dados experimentais disponíveis em literatura publicada, o comportamento do solvente nafta durante a condensação. Devido à elevada quantidade de moléculas presentes no solvente, estimadas por Fujita (2007) entre 659 e 1479 possíveis isômeros, a obtenção dos dados necessários e o cálculo das propriedades do solvente que é uma mistura desses hidrocarbonetos torna-se inviável.

Com a intenção de resolver esse problema que é comum em indústrias petroquímicas, aplica-se o conceito de pseudocomponentes. Os pseudocomponentes são componentes teóricos criados a partir de modelos de caracterização, capazes de representar o comportamento termodinâmico de uma fração de petróleo. Essa técnica reduz o número de componentes da mistura agrupando moléculas semelhantes em um único componente. Para gerar os pseudocomponentes necessários e simular o comportamento do solvente nafta durante o processo de condensação, foram utilizadas as ferramentas disponíveis no simulador de processos DWSIM. Foram usados os métodos de correlação indicados por Aladwani (2005) para geração dos pseudocomponentes. A equação de estado de Chao-Seader, recomendada por Carlson (1996), foi usada para estimar o equilíbrio líquido-vapor da mistura na pressão de 1 atm.

A simulação foi realizada usando a curva de destilação publicada por Hasan *et al* (2015) para criação de 10 pseudocomponentes, que inicialmente foram usados para a observar o efeito da mistura de ar no vapor de solvente, uma vez que o reator se encontra aberto e o ar, por ser uma mistura de gases, não condensa nas temperaturas usadas, podendo atrapalhar a condensação do solvente. Essa análise foi realizada variando a porcentagem de ar de 0 a 60% do volume da mistura, e a temperatura foi limitada em -60°C pela inviabilidade de implementação de temperaturas menores. Na Figura 2 estão apresentadas as simulações da porcentagem de recuperação do vapor, onde as curvas representam a porcentagem de recuperação do vapor de nafta na temperatura de equilíbrio.

É possível observar no gráfico as temperaturas de equilíbrio para cada concentração de ar no vapor de nafta dependendo da recuperação de solvente desejada. A simulação aponta que é possível obter alta porcentagem de recuperação mesmo em temperaturas compatíveis com fluidos refrigerantes mais comuns como a água, porém a presença de ar no vapor demanda temperaturas menores.

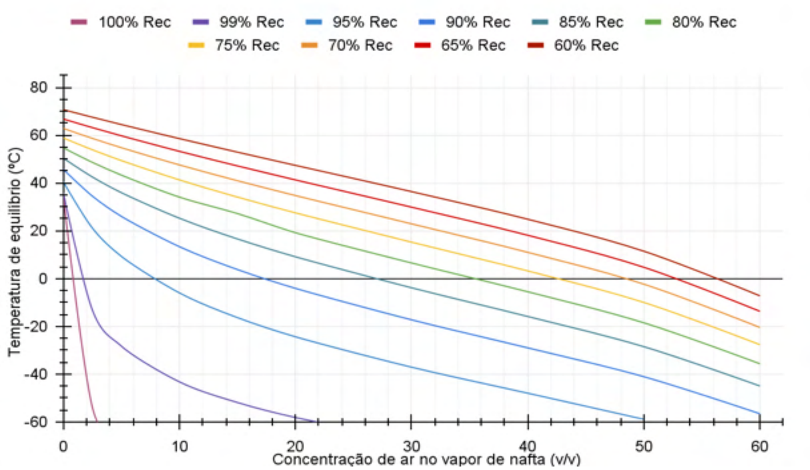



Figura 2- Influência da porcentagem de ar na recuperação da nafta

Fonte: Próprio autor

Para uma recuperação de 100% do solvente sem presença de ar, a temperatura de equilíbrio é 34 ºC, já com 2% de ar essa recuperação só acontece em -36°C. As recuperações de 99% e 95% são similarmente sensíveis a pequenas quantidades de ar. Em casos onde a recuperação é menor, é possível operar com maior quantidade de ar em altas temperaturas, uma vez que não é necessário condensar o vapor em sua totalidade.

Em casos onde a alta temperatura ou concentração de ar impede a condensação total do vapor é necessário avaliar o efeito da recuperação parcial na composição do

solvente, uma vez que a proporção dos componentes é uma propriedade importante para sua aplicação. Esses efeitos foram avaliados de forma independente, sendo a Figura 3 a composição esperada para as frações de recuperação sem a presença de ar e a Figura 4 é a variação percentual de composição causada pela adição de ar.

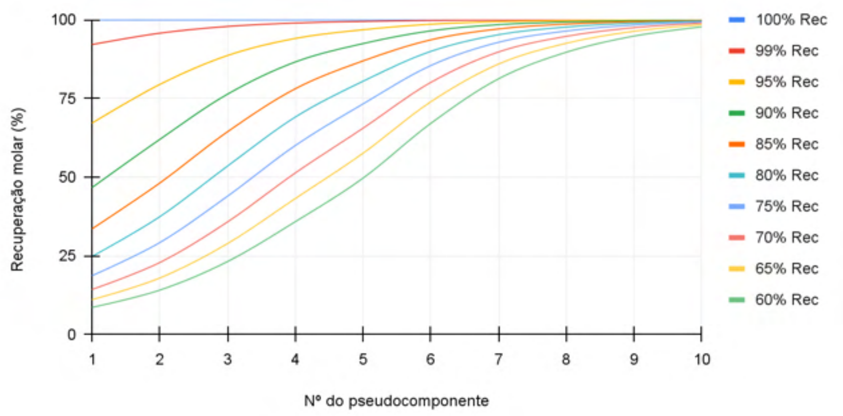



Figura 3- Recuperação molar por pseudocomponente

Fonte: Próprio autor

Com base nos dados estimados é possível observar que quando existe a recuperação parcial da nafta ocorrem perdas em todos os componentes, mas os mais voláteis são perdidos em maior quantidade enquanto que os menos voláteis são recuperados quase totalmente. Por consequência disso o solvente recuperado parcialmente tende a ter maior peso molecular, e diferentes propriedades químicas, o que pode ser prejudicial na sua função de solubilizar a borracha.

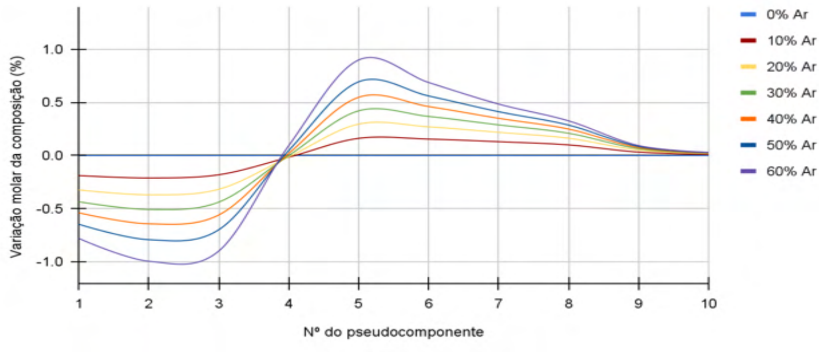



Figura 4 - Variação da composição dos pseudocomponentes provocada pela mistura com ar

Fonte: Próprio autor

A proporção recuperada dos componentes quando existe a mistura com o ar é muito semelhante quando a fração total é mantida, existindo uma perda adicional de no máximo 1% nos componentes mais voláteis com a presença de 60% de ar, que é compensada pela recuperação extra da parte menos volátil.

Para processos de condensação também é importante escolher e dimensionar corretamente os sistemas usados para dissipar o calor e refrigerar os vapores, uma vez que a recuperação e eficiência energética do maquinário a ser usado depende das condições de operação. Para vapores de nafta condensados com baixa concentração de ar é necessário dissipar aproximadamente 343 kJ de calor para a condensação de um litro de solvente. A potência de refrigeração requerida do *chiller* depende da vazão do vapor, que por sua vez depende da velocidade de aquecimento usada no reator de polimerização, contudo, se o ciclo de refrigeração opera com o coeficiente de performance nominal, é possível estimar que é necessário o uso de 31 kWh a 53 kWh de energia elétrica para a condensação de 1 m³ de solvente, tornando a condensação economicamente viável, sendo limitada somente pelos custos de implementação e manutenção do projeto.

A partir das análises realizadas é possível afirmar que a recuperação da nafta dentro da produção de adesivos pode ser realizada, sendo limitada principalmente pela viabilidade do reuso do solvente recuperado devido a possíveis mudanças de composição e a implementação do condensador dentro do processo, uma vez que devem ser observados os efeitos da recuperação nas características finais do adesivo.

Para obtenção de uma recuperação eficiente sugere-se que o reator de polimerização seja modificado para evitar a mistura de ar no solvente evaporado, já que esse fator é importante na determinação das temperaturas necessárias para a condensação e na

composição final do condensado. Com uma recuperação adequada espera-se a redução da emissão de COVs no ambiente de trabalho e na atmosfera reduzindo os impactos causados pela produção dos adesivos PSA que usam solvente.

## 4 I CONCLUSÃO

Neste trabalho sobre o estudo da recuperação de solventes na indústria de adesivos foram avaliados três métodos de recuperação de solvente: a adsorção, a condensação e a recuperação por membranas com objetivo de reduzir a emissão dos compostos orgânicos voláteis emitidos. Com o desenvolvimento dessa avaliação foi possível constatar que o uso de membranas no processo de recuperação da nafta é inviável devido aos problemas enfrentados na sua implementação, como o alto investimento, a complexidade da construção dos módulos de separação e a necessidade do controle contínuo das concentrações de vapor entre os lados da membrana durante sua operação. A adsorção e a condensação, dentro de suas limitações, se apresentam como boas opções para a recuperação, porém como a adsorção é um processo melhor estudado na literatura, este trabalho focou na análise da viabilidade da condensação.

Durante a análise do processo produtivo, que tem como principal fonte de emissão a evaporação do solvente durante a polimerização do adesivo, constatou-se que o uso do solvente não pode ser evitado, pois além de melhorar a processabilidade do adesivo, ele facilita a homogeneização dos materiais e reduz o tempo de processamento. Com a atual preocupação pela poluição ambiental e pela segurança do trabalho percebe-se que a indústria de adesivos PSA busca atualmente a produção mais limpa de seus produtos, evidenciado pelo desenvolvimento de novas tecnologias e aplicação de solventes com menor potencial carcinogênico e baixa toxicidade, como a nafta.

O uso da condensação como solução na recuperação da nafta mostrou o maior potencial de redução de custos e aumento na eficiência de recuperação. Apesar dos possíveis ganhos, essa tecnologia possui alguns fatores limitantes em sua implementação, como a mistura de ar no vapor de solvente, que prejudica o processo de recuperação e causa a redução das temperaturas de equilíbrio em frações altas de recuperação, elevando o custo operacional e reduzindo a eficiência. A fim de evitar que isso ocorra recomenda-se que sejam realizadas modificações no reator de polimerização de forma a evitar a mistura de ar no vapor de nafta. Outra condição prejudicial identificada é a recuperação parcial da nafta, que causa alterações na composição do solvente, sendo necessário a continuação dos estudos para determinar a composição do condensado obtido e se a alteração ocorrida pode causar prejuízos em sua função como solvente de borracha.

Para situações onde as limitações da condensação impedem a sua viabilidade, os processos de adsorção podem ser aplicados pois permitem a recuperação dos compostos

orgânicos voláteis e possuem custo de operação e implementação relativamente baixo. Porém, o processo de regeneração do leito cria a necessidade do tratamento do solvente para seu reuso. Nesses processos as condições de operação determinam a eficiência energética e a capacidade de recuperação do equipamento aplicado, sendo assim a escolha do tipo de método de recuperação é de suma importância. Para a determinação destas variáveis há necessidade de continuação do estudo no âmbito prático, para avaliar o comportamento do solvente durante a recuperação, onde pode ser observado o equilíbrio líquido-vapor nas temperaturas de equilíbrio determinadas, estimar as perdas ocorridas durante o processo, bem como as propriedades do solvente recuperado para reuso do mesmo dentro do processo de produção de adesivos PSA.

## REFERÊNCIAS


ALADWANI, H. A; RIAZI, M. R; **Some guidelines for choosing a characterization method for fractions in process simulators.** Kuwait.2005.

BAKER, WIJMANS, KASCHEMEKAT. **The design of membrane vapor-gas separation systems.** Elsevier,1998. Disponível em: doi.org/10.1016/S0376-7388(98)00248-8. Acesso em:18 jun. 2021

Blocki, S. W. (1993). **Hydrophobic zeolite adsorption:** A proven advancement in solvent separation technology. Environmental Progress, 12, 226–237.

CAETANO, Mário J. **Os Solventes Orgânicos na Indústria de Borracha.** c2010-2019**.** Disponível em: www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/materias-primas/solventes/os-solventes-organicos-na-industria-da-borracha/. Acesso em: 04 Abr.2021.

CARLSON, Eric I.; **Don't gamble with physical properties for simulations.** Chemical engineering progress.1996.

DANTAS, Tirzhá Lins Porto. **Separação de dióxido de carbono por adsorção a partir de misturas sintéticas do tipo gás de exaustão**. 2009. 159 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química), UFSC, Florianópolis, 2009.

HASSAN, Mohammad Hasibul; KHAN Sabrina; HOSSAIN, Tania; SOWGATH, M. T.; **Simulation of Crude Distillation Unit of Eastern Refinery Limited (ERL) Using ASPEN PLUS**, Bangladesh, 2015

KHAN,Faisal I. ;GHOSHAL, Aloke Kr.; **Removal of Volatile Organic Compounds from polluted air.**2000. Disponível em: doi.org/10.1016/S0950-4230(00)00007-3.Acesso em:18 jun. 2021

KORD, Joan M.; WYKOFF, Anne E.; **Styrene butadiene rubber.** *In*: SATAS, Donatas (ed.) **Handbook of pressure sensitive adhesive technology.** 3rd ed. Warwick: Satas & Associates, 1999. Cap. 14, p. 288-320.

LABOPRIME LABORATÓRIOS. Análise de vapores orgânicos. **Blog Laboprime.** [S.I.], 02 Mai 2019. Disponível em: https://www.laboprime.com.br/analise-de-vapores-organicos-riscos-a-saude-por-inalacao-de-agentes-quimicos/. Acesso em: 03 Abr.2021.

MATOS, Simone Pires de. **Operações unitárias** : fundamentos, transformações e aplicações dos fenômenos físicos e químicos. 1ª ed. São Paulo : Érica, 2015. Disponível em: Acervo Virtual Universidade São Francisco de Assis. Acesso em: 30 Maio.2021.

PIRES, Carlos Augusto de Moraes. Reforma catalítica da nafta: modelagem, simulação e controle do processo. 2000. 209p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, SP. Disponível em: http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/267566. Acesso em: 13 Out. 2021.

PLOTEGHER, Fábio; RIBEIRO, Caue. **Síntese e caracterização da zeólita ZSM-5 para uso em sistemas de adsorção.** São Carlos, SP, julho, 2009. Disponível em: www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/658309/1/CT1072009pdf. Acesso em: 10 jun.2021

QUIMESP QUÍMICA. **FISPQ Nafta Solvente.** Revisão 02, 27 Out 2017. Disponível em: https://www.quimesp.com.br/nafta-solvente.php. Acesso em: 22 Abr.2021.

WILCOX, Jennifer. **Carbon Capture**. New York: Springer Science, 2012. 323 p.

# CAPÍTULO 7

# DESENVOLVIMENTO, ANÁLISE E ESTUDO DA CASCA DE CAFÉ PARA REMOÇÃO DE CORANTES DE EFLUENTES INDUSTRIAIS


**Enik Erica Rodrigues Godoy**
Universidade São Francisco, Curso de Engenharia Química
Itatiba – SP
http://lattes.cnpq.br/6931686501116261

**Gabriela de Oliveira Ferri**
Universidade São Francisco, Curso de Engenharia Química
Itatiba – SP
http://lattes.cnpq.br/5259517231430449

**Monica Tais Siqueira D'Amelio**
Universidade São Francisco, Curso de Engenharia Química
Itatiba – SP
http://lattes.cnpq.br/0347184334616712



**RESUMO:** Um dos grandes desafios do setor têxtil é a remoção de corantes dos efluentes gerados em decorrência das etapas de beneficiamento dos tecidos. A técnica mais utilizada é a adsorção, a qual tem permitido o desenvolvimento de novos adsorventes, principalmente os provenientes de resíduos orgânicos agroindustriais, que são de grande interesse por apresentarem baixo custo e alta oferta no país. Neste trabalho foi abordado o uso da casca de café como alternativa para produção de carvão ativado através da carbonização e ativação química em temperatura ambiente com uma solução de Cal 0,05 mol/L para o tratamento de efluentes têxteis. Foram realizadas caracterizações que comprovaram a formação de poros na ativação e que a temperatura de carbonização foi atingida, o que gerou um alto rendimento. Os testes de adsorção realizados indicaram um bom desempenho nas isotermas do corante vermelho mostrando que a adsorção predominante no processo foi física, comprovada pela cinética que apresentou o processo de adsorção e dessorção muito rápido. A saturação do leito experimental não foi atingida ao longo de 70 minutos, apontando uma boa eficiência para baixas concentrações de efluentes.



**PALAVRAS-CHAVE**: Adsorção, casca de café, efluentes têxteis.


## DEVELOPMENT, ANALYSIS AND STUDY OF COFFEE HUSK FOR DYES REMOVAL FROM INDUSTRIAL EFFLUENTS


**ABSTRACT:** One of the great challenges of the textile sector is the removal of dyes from the effluents generated as a result of the fabric improvement stages. The most used technique is adsorption, which has allowed the development of new adsorbents, especially those from agro-industrial organic waste, which are of great interest because of their low cost and high supply in the country. In this work, the use of coffee husks as an alternative for the production of activated carbon through carbonization and chemical activation at room temperature with a 0.05 mol/L Cal solution for the treatment of textile effluents was addressed. Characterizations were carried out that proved the formation of pores in the activation and that the carbonization temperature was reached, which generated a

high yield. The adsorption tests performed indicated a good performance in the isotherms of the red dye, showing that the predominant adsorption in the process was physical, proven by the kinetics that presented the process of adsorption and desorption very fast. The saturation of the experimental bed was not reached over 70 minutes, indicating a good efficiency for low effluent concentrations.

**KEYWORDS**: Adsorption, coffee husk, textile effluents.

## 1 I INTRODUÇÃO

A água, apesar de ser um recurso abundante no planeta, possui disponibilidade limitada e é ameaçada pelo aumento de demanda do uso doméstico, agricultura, mineração, produção industrial, geração de energia e silvicultura (BITTENCOURT e PAULA, 2014). Dentre as atividades de produção industrial, destaca-se o segmento têxtil por gerar grande volume de efluentes decorrentes do processo de beneficiamento do tecido, contendo corantes, surfactantes, íons inorgânicos entre outras substâncias que alteram os parâmetros físico-químicos da água (QUEIROZ, A., *et al.*, 2019). O processo de tingimento é uma das etapas incluídas (ZANONI e GUARATINI, 1999). A remoção dos resíduos de corantes dos efluentes gerados é um dos grandes desafios do setor têxtil, e uma das técnicas mais utilizadas é a adsorção (FORTINO, 2012).

A adsorção é uma operação unitária baseada no princípio de transferência de massa, que através de mecanismos de difusão promove a remoção de partículas indesejadas de um certo meio, sendo adsorvidas dentro dos poros e superfície do material (MATOS, 2015). Uma das superfícies de adsorção mais comuns é o carvão ativado. Sua composição é principalmente carbono, com muitos poros e grande superfície de contato (INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA, 2017). O carvão ativado pode ser obtido a partir de materiais orgânicos, como: o açúcar, o carvão mineral, a casca de coco, dentre outros resíduos agroindustriais (MATOS, 2015). Quando o carvão ativado é feito a partir de resíduos agroindustriais (biomassa) ele é chamado de bioadsorvente ou biocarvão. A obtenção desse material ocorre através de carbonização ou pirólise e ativação química.

No Brasil um dos grandes pilares da agricultura brasileira é a produção de cafe, sendo responsável por cerca de 1/3 de sua produção mundial (ABIC, 2021). Em virtude do alto volume produzido, preocupa-se quanto à sustentabilidade na produção, visto que uma grande quantidade de resíduos é gerada. Apesar de ser um resíduo agrícola, se disposto inadequadamente, pode causar a contaminação de solos e águas devido aos agroquímicos (SANTOS, TEDESCO, *et al.*, 2015).

Os resíduos gerados pelo cultivo do café são lignocelulósicos (OLIVEIRA, 2016), indicando a presença de moléculas de lignina, celulose e hemicelulose conforme apresentado pela Tabela 1. A decomposição da hemicelulose ocorre principalmente entre

as temperaturas de 220 e 315ºC, enquanto a celulose ocorre em uma faixa de 315 e 400ºC e a decomposição da lignina ocorre lentamente até os 900ºC (YANG, YAN, *et al.*, 2007).

| Componente da biomassa | % em massa |
|---|---|
| Hemicelulose | 31,51 ± 0,5 |
| Celulose | 43,80 ± 0,5 |
| Lignina | 24,35 ± 0,5 |
| Cinzas | 0,34 ± 0,5 |

Tabela 1 – Principais compostos na casca de café in natura.

Fonte: Adaptado (SILVA, 2012).

Uma aplicação viável para os resíduos decorrentes de produções agrícolas é o desenvolvimento de materiais adsorventes em substituição ao carvão ativado de origem mineral, dando origem a um material com maior valor agregado (OLIVEIRA e PEREIRA, 2008). A aplicação desses materiais como soluções alternativas para promover a limpeza de efluentes têxteis tem sido vastamente estudada e é considerada uma solução eficaz de baixo custo e complexidade (DE COSTA, FURMANSKI e DOMINGUINI, 2015).

A transformação de resíduos agrícolas em adsorventes pode ser realizada através da pirólise ou carbonização e ativação do material de forma química (OLIVEIRA e PEREIRA, 2008).

Considerando o alto volume de resíduo gerado no processo de beneficiamento do café e a necessidade de reduzir a emissão de corantes no sistema aquífero, este trabalho estudou a eficiência da casca de café como um bioadsorvente para o tratamento de efluentes têxteis.

## 2 | METODOLOGIA

A casca de café arábica utilizada neste trabalho foi obtida na empresa Café Scomparim localizada na cidade de Bragança Paulista, e foi processada por via seca.

### 2.1 Caracterização do material

Para a caracterização do material, realizaram-se as análises de MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) e espectroscopia vibracional na região do infravermelho, além da classificação granulométrica (4, 8, 14, 28, 48 e 100 Mesh) e as análises térmicas, Análise Termogravimétrica (TG) para determinar o comportamento da amostra durante sua decomposição térmica e a Análise Térmica Diferencial (DTA) para determinar o comportamento térmico da amostra ao longo da variação de temperatura programada. Realizou-se o teste de dispersão em béqueres, adicionando em 150 mL de água, 3 g do material e deixando em repouso por 24 horas.

## 2.2 Preparo do material

A casca de café foi separada em lotes de 1 kg e submetida ao processo de carbonização em um recipiente de aço aberto em contato direto com fogo proporcionado por lenha até a temperatura de combustão ser atingida. O material foi retirado do recipiente metálico assim que as chamas provenientes da combustão cessaram. Todo material foi triturado durante 2 minutos.

A ativação foi realizada com solução de Cal a 0,05 mol/L, na proporção de 1 grama de material para 10 ml da solução de Cal, e o sistema foi mantido em repouso por 24 horas em temperatura ambiente. Após, a mistura carvão-Cal foi lavada com água destilada, filtrada e seca em estufa a 100 ºC por 30 minutos. As águas de lavagem tiveram seu pH medido por tiras universais de pH para garantir que o perfil básico do agente ativante fosse eliminado.

## 2.3 Isoterma de adsorção

A isoterma foi construída para três corantes da marca Guarany nas cores azul, amarelo e vermelho. Na obtenção das isotermas, foram colocados 50 ml de cada solução (50, 100, 150, 200, 250 e 300 mg/L) em um béquer com 0,1 g do bioadsorvente previamente ativado. Todos os testes foram realizados com agitação de 60 rpm durante 1,5 horas em temperatura ambiente.

## 2.4 Cinética de adsorção

Em cada teste foram adicionados 50 ml da solução em um béquer com 0,1 g do material adsorvente. Todos os testes foram realizados com agitação de 60 rpm com controle de temperatura ao longo do processo. As amostras foram retiradas nos tempos: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 e 60 minutos. Após atingir os tempos estipulados foram retiradas amostras das soluções para analisar a absorbância no espectrofotômetro.

## 2.5 Curva de ruptura

A curva de ruptura foi obtida com amostras coletadas em uma coluna de adsorção com 38 cm de recheio de adsorvente compactado. Foram coletadas amostras de 5 em 5 minutos entre 5 e 70 minutos.

# 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 3.1 Caracterização do material

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) mostrou que os poros foram formados no processo de ativação (Figuras 1c e 1e) em relação à amostra original (Figura 1a) e a carbonizada (Figuras 1b e 1d). O diâmetro também foi importante, pois observou-se uma alteração mais intensa no material com menor diâmetro em virtude do maior contato com o

agente ativante. Através do programa ImageJ determinou-se o diâmetro médio dos poros formados e foram obtidos os valores de 31,006 micrômetros para as amostras retidas na peneira de Mesh 48 e 48,398 micrômetros para as retidas na peneira de Mesh 8.

A espectroscopia na região do infravermelho (Figura 2) observou-se a diferença entre os três espectros, evidenciando as alterações químicas provocadas pela carbonização (carvão carbonizado) e ativação química (carvão carbonizado e ativado com Cal) no material precursor. É possível observar grande similaridade na composição dos materiais analisados, no entanto, nota-se a presença de picos de ligação tripla entre carbonos na faixa de 3000 nm apenas no material precursor, o que é esperado visto que não houve a decomposição da celulose, hemicelulose e lignina presentes na amostra.

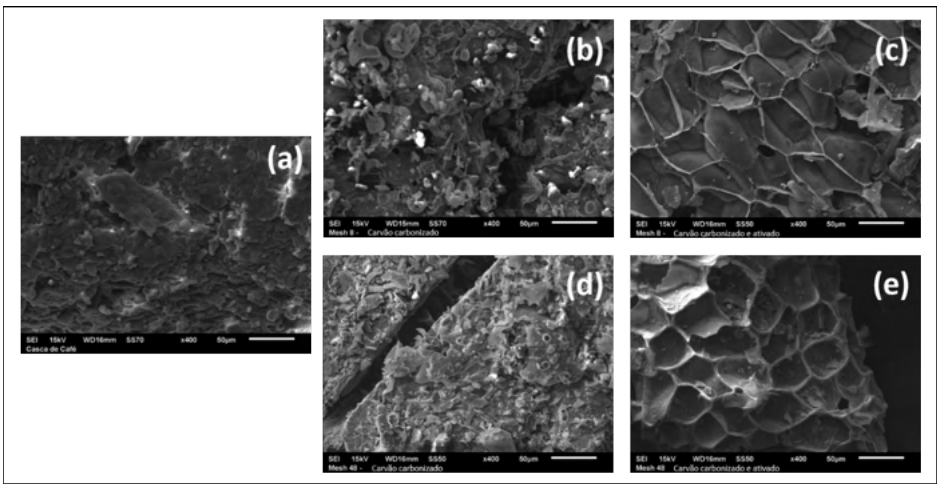



Figura 1 – Microscopia eletrônica de varredura da casca de café, precursor puro (a), da casca de café carbonizada de mesh 8 (b) e mesh 48 (d), e da casca de café carbonizada e ativada com Cal de mesh 8 (c) e mesh 48 (e).

Fonte: Próprio autor

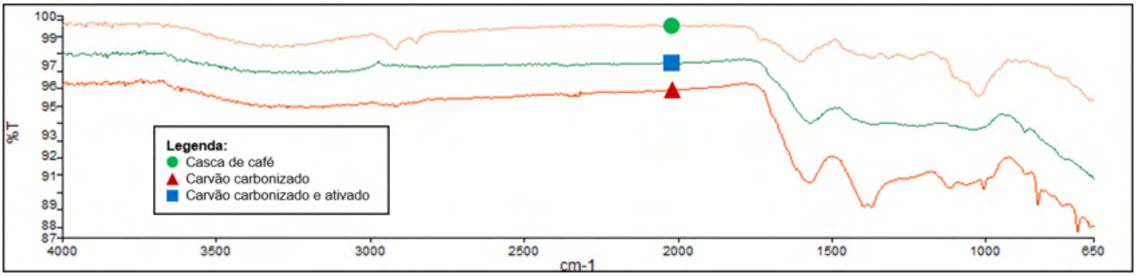



Figura 2 – Espectro na região do infravermelho das amostras de casca de café, carvão carbonizado e carvão carbonizado e ativado com cal.

Fonte: Próprio autor.

Através do termograma da Figura 3 obtido com a Análise Termogravimétrica (TG) do material precursor (casca de café) realizada em atmosfera oxidante, foi possível identificar, em virtude da taxa de consumo da massa, a faixa de temperatura onde a degradação do material foi mais acentuada, chegando no seu limite de decomposição em 322ºC, o que permite inferir que esta é a temperatura de carbonização do material. A temperatura da carbonização aferida durante o experimento foi de 350ºC, próxima ao obtido no TG, constatando que foi atingido o estado de carbonização do material precursor. Também foi possível identificar uma acentuada perda de massa até os 100ºC, caracterizada pela perda de água do material.

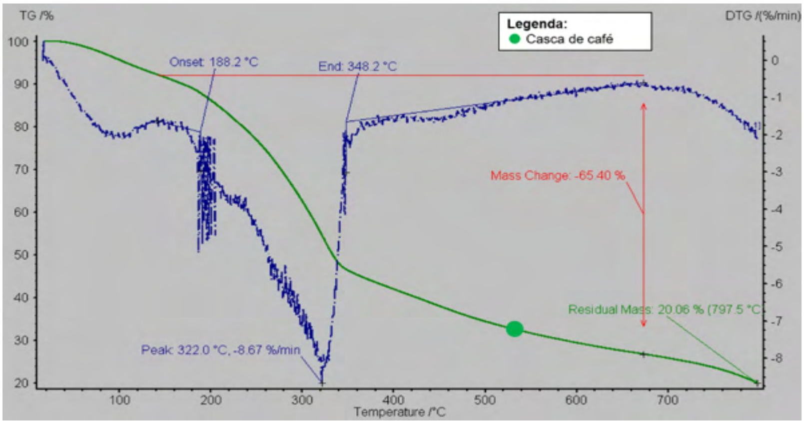



Figura 3 – TGA do material precursor (casca de café)

Fonte: Próprio autor.

Ainda nesta figura, observa-se um grande decaimento de massa entre os 200 e 340ºC, caracterizado pela degradação da hemicelulose e celulose e um decaimento leve, porém constante, entre de 400 e 800ºC, caracterizado pela decomposição da lignina. A massa residual da amostra durante o processo foi de 20,06%. As faixas de temperatura apresentadas pelo termograma são correspondentes ao encontrado nos estudos de Yang *et al*.

Compararam-se os dados de TG obtidos para as duas amostras obtidas durante o processo de ativação em relação à amostra original (Figura 4), em que foi possível observar a diminuição da perda de massa conforme a amostra foi submetida a mais processos, sugerindo que os traços da matéria orgânica foram diminuindo com os processos e indicando as transformações químicas em decorrência dos processos de ativação.

A Análise Térmica Diferencial (DTA) (Figura 5) mostrou que a amostra de casca de café apresentou majoritariamente processos exotérmicos, e isso pode ser justificada pela decomposição sofrida pelo material ao longo da análise.

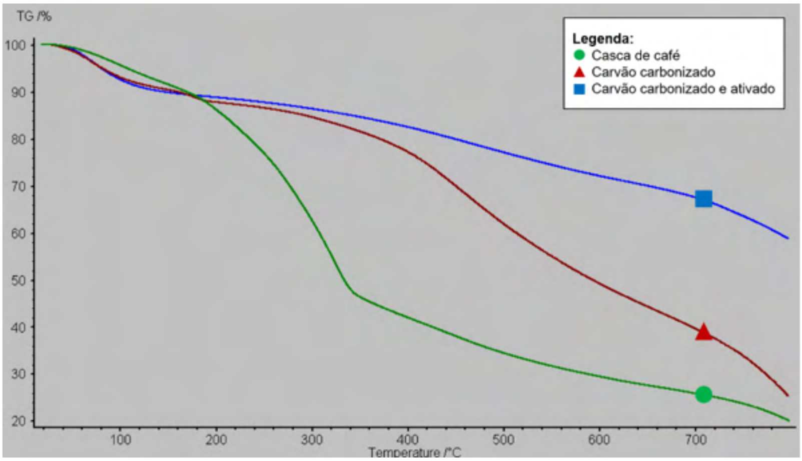



Figura 4 – TGA comparativo entre a casca de café, carvão carbonizado e carvão carbonizado e ativado.

Fonte: Próprio autor.

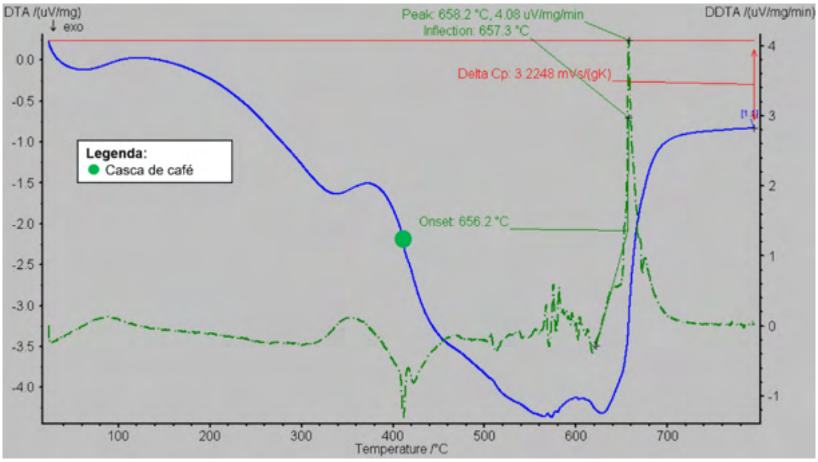



Figura 5 – DTA do material precursor (casca de café).

Fonte: Próprio autor.

A distribuição granulométrica (Figura 6a) indicou que imediatamente após o processo de carbonização, a amostra apresentou um padrão, evidenciando que o processo trouxe homogeneidade para as amostras. O comportamento das curvas é muito similar entre os lotes, assemelhando-se a uma reta e apresentando uma distribuição homogênea entre os diâmetros da amostra. Em relação ao material após a trituração (Figura 6b), os dois lotes apresentaram o mesmo estilo de curva onde há presença de um rápido crescimento que indica a geração de grande quantidade de partículas pequenas e consequentemente a redução do diâmetro médio das amostras, de 3,5 mm para inferior a 1 mm no primeiro lote

e de 1,5 mm para a 0,5 mm no segundo lote.

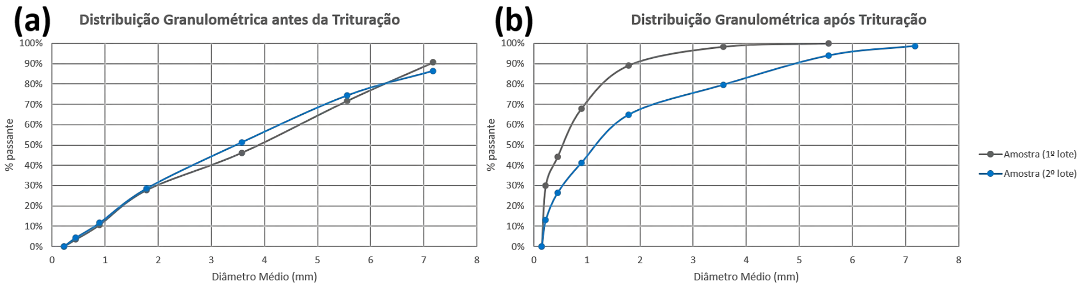



Figura 6 – Distribuição granulométrica dos dois lotes produzidos antes da trituração (a) e após a trituração (b).

Fonte: Próprio autor.

Com a realização do teste de dispersão do material constatou-se que os carvões ativados de Mesh 8, 14, 28 e 48 não apresentaram dificuldade na separação com água nem coloração residual, indicando a eficiência da segunda lavagem e a possibilidade de usar esses diâmetros nos próximos testes. No entanto o material retido na peneira de Mesh 100 não apresentou o mesmo desempenho. Ao entrar em contato com apenas 150 ml de água, o material formou uma mistura que mesmo com o repouso de 24 horas não separou fases. Visto que esse diâmetro não apresentou uma fácil separação com a água, foi definido que ele não poderia ser escolhido para dar sequência aos testes.

## 3.2 Isoterma de adsorção

Foram construídas as isotermas de adsorção para os três corantes previamente preparados. No entanto, durante os testes foi observado que os corantes azul e amarelo apresentaram as concentrações finais superiores as iniciais, o que os inviabilizou para dar continuidade aos testes.

A Figura 7 apresenta as isotermas de adsorção obtidas para o corante vermelho, em diferentes Meshs, as quais foram classificadas como desfavoráveis, indicando que uma pequena quantidade de adsorvato é retida por unidade de massa do adsorvente.

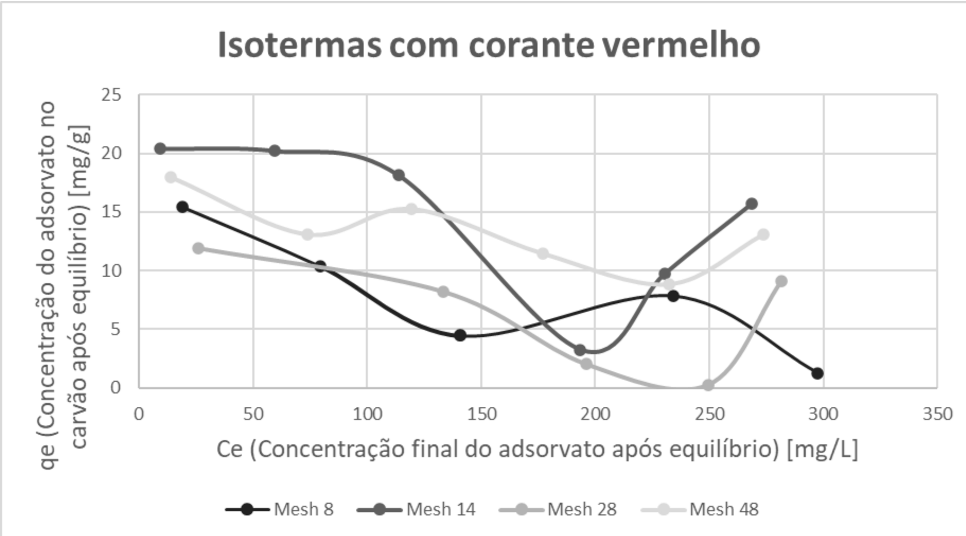



Figura 7 – Isoterma do corante vermelho.

Fonte: Próprio autor.

Esse comportamento ocorre devido a predominância de adsorção física, apresentando uma adsorção rápida e reversível em virtude das suas ligações decorrerem da ação de forças de atração intermoleculares fracas entre o adsorvente e as moléculas adsorvidas.

### 3.3 Cinética de adsorção

Os dados cinéticos obtidos estão apresentados na Figura 8. Através dos perfis cinéticos constatou-se uma similaridade no comportamento das curvas para as duas concentrações analisadas (15 e 25 mg/L). A saturação do material adsorvente ocorreu em torno dos 20 minutos do experimento, notou-se uma repentina diminuição do material adsorvido podendo ser justificada pela dessorção do adsorvato. Esse ciclo de adsorção e dessorção do material foi observado repetidamente durante o experimento em ambas concentrações, fato justificado por tratar-se de uma adsorção física. Além disso, foi possível notar uma diminuição na capacidade adsortiva do adsorvente uma vez que a cada interação a quantidade disponível de sítios ativos diminuiu.

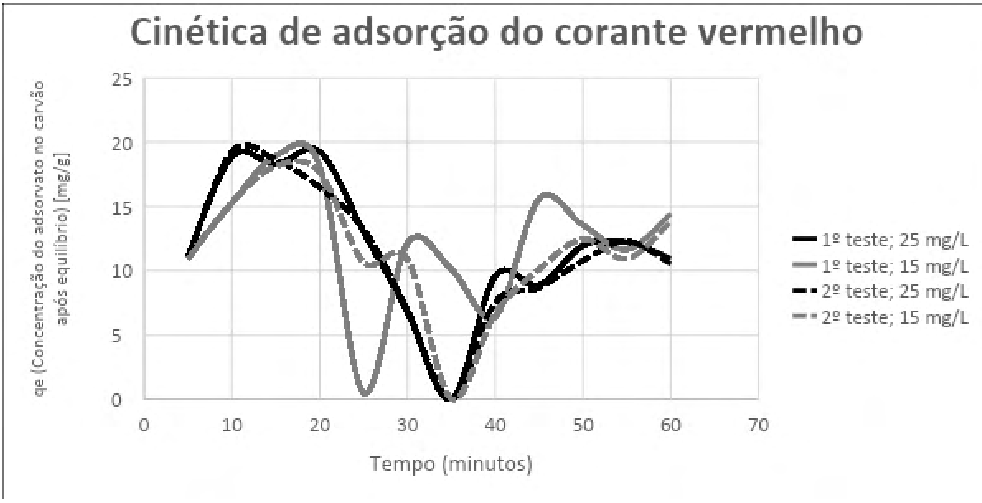



Figura 8 – Cinética de adsorção para o corante vermelho.

Fonte: Próprio autor.

## 3.4 Curva de ruptura

Os dados obtidos com a coluna de adsorção estão organizados na Figura 9. Através da análise do gráfico é possível inferir que a saturação do material não foi atingida ao longo dos 70 minutos de duração do experimento. Em decorrência do não atingimento da saturação do material, não foi possível identificar o aproveitamento do leito da coluna.

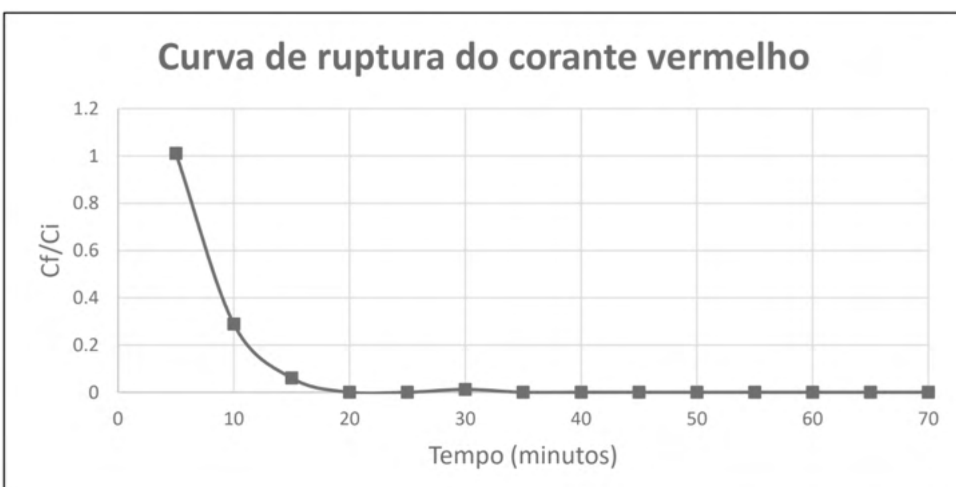



Figura 8 – Curva de ruptura para o corante vermelho.

Fonte: Próprio autor.

## 4 I CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento, análise e estudo da casca de café foi possível concluir que a caracterização do material através do MEV demonstra que conforme as amostras foram submetidas a mais processos de ativação sua morfologia foi alterada e a formação de poros foi evidenciada, comprovando a eficácia do método de ativação com Cal a 0,05 mol/L em temperatura ambiente. O diâmetro dos poros aferidos pelo programa ImageJ foram de 31,0 e 48,4 micrômetros para as amostras retidas na peneira de Mesh 48 e 8 respectivamente.

Com espectroscopia na região do infravermelho foi possível observar a diferença entre os espectros obtidos, confirmando que as ativações mudaram a estrutura do material e que apenas no material precursor havia presença de ligações triplas entre carbonos, indicando traços de celulose, hemicelulose e lignina A análise de TGA permitiu comparar a temperatura do limite de decomposição do material (322ºC) com a temperatura aferida experimentalmente (350ºC), concluindo-se que a temperatura de carbonização do bioadsorvente foi atingida durante o experimento. Além disso, os termogramas do TG em conjunto com o do DTA permitiram a identificação dos compostos degradados ao longo do experimento, indicando que o carvão obtido ainda continha a presença da lignina uma vez que a faixa onde sua decomposição ocorre não foi atingida, proporcionando um rendimento alto do material (33 e 34%). Outro fator importante apontado pela análise de DTA foi o comportamento exotérmico dos eventos térmicos, justificado pela decomposição da celulose, hemicelulose e lignina assim como a perda de água até os 100ºC. Através da distribuição granulométrica notou-se a homogeneidade trazida pelo processo de carbonização e uma acentuada redução no diâmetro médio das partículas após a trituração.

Em relação as etapas intermediárias para os testes de adsorção, foi constatada a necessidade de realizar no mínimo duas lavagens para que os resíduos do bioadsorvente não interferissem nas análises. Os testes de dispersão permitiram constatar que os menores diâmetros do material se mostraram inviáveis para os testes de adsorção por serem difíceis de filtrar devido a formação de uma mistura que não separou fases após 24 horas em repouso.

Em relação aos testes de adsorção realizados, notou-se que para as tonalidades de corante azul e amarelo as concentrações após contato com o adsorvente foram superiores as iniciais, inviabilizando-os para dar continuidade nos testes. A isoterma construída para o corante vermelho apresentou um comportamento desfavorável, indicando uma pequena quantidade de adsorvato retida por unidade de massa do adsorvente. Conclui-se que a interação do biocarvão ativado com o corante ocorre predominantemente por adsorção física. A cinética obtida demonstrou que o processo de adsorção e dessorção é muito rápido, comprovando a interação fraca entre o adsorvente e o adsorvato (adsorção física). A coluna de adsorção construída permitiu a construção da curva de ruptura, no entanto o ponto de saturação do material não foi atingido, indicando a eficiência do material para

baixas concentrações.

## REFERÊNCIAS

ABIC. O café brasileiro na atualidade. **Associação Brasileira da Indústria de Café**, 2021. Disponivel em: <https://www.abic.com.br/>. Acesso em: 14 mar. 2021.

BITTENCOURT, C.; PAULA, M. A. S. **Tratamento de água e efluentes:** fundamentos de saneamento ambiental e gestão de recursos hídricos. 1ª. ed. São Paulo: Érica, 2014.

DE COSTA, P. D.; FURMANSKI, L. M.; DOMINGUINI, L. Produção, Caracterização e Aplicação de Carvão Ativado de Casca de Nozes para Adsorção de Azul de Metileno, 2015.

FORTINO, P. **Pós-Tratamento de Efluente Têxtil Usando Coagulação/Floculação Combinado com Processos de Separação Por Membranas**. Porto Alegre: [s.n.], 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA. Pesquisas do INT trazem alternativas para obtenção e aplicações do carvão ativado a partir de matérias-primas residuais. **Inovativa**, v. Ano 4, n. nº 18, p. 2-5, fevereiro 2017.

MATOS, S. P. **Operações unitárias:** fundamentos, transformações e aplicações dos fenômenos físicos e químicos. 1ª. ed. São Paulo: Érica, 2015.

OLIVEIRA, G. F. **Produção de Carvão Ativado a partir do Pecíolo do Babaçu**, Dourados, 2016.

OLIVEIRA, L. C.; PEREIRA, E. **Preparação de carvão ativado em baixas temperaturas de carbonização a partir de rejeitos de café: utilização de FeCl3**, 2008.

QUEIROZ et al. Reestruturação na forma do tratamento de efluentes têxteis: uma proposta embasada em fundamentos teóricos., São Carlos, 2019.

SANTOS, G. B. et al. Produção de carvão ativado a partir da casca de café, 2015.

SILVA, J. P. **Caracterização da casca de café (coffea arábica, L) in natura, e de seus produtos obtidos pelo processo de pirólise em reator mecanincamente agitado**. Campinas. 2012.

YANG, H. et al. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. **Fuel**, v. 86, p. 1781 - 1788, 2007.

ZANONI, V. B.; GUARATINI, C. C. I. **Corantes Têxteis**, 1999.

# CAPÍTULO 8

# APLICAÇÃO DE CARVÃO ALTERNATIVO EM TRATAMENTO DE ÁGUA INDUSTRIAL

**Bruna Ferraz Mattos de Souza**
Universidade São Francisco
Bragança Paulista – São Paulo
http://lattes.cnpq.br/4585471781036245

**David Aguiar Ferreira Junior**
Universidade São Francisco
Bragança Paulista – São Paulo
http://lattes.cnpq.br/7684337624445128

**Monica Tais Siqueira D'Amelio Felippe**
Universidade São Francisco
Bragança Paulista – São Paulo
http://lattes.cnpq.br/0347184334616712

**RESUMO:** O presente trabalho avalia a eficiência de remoção de carga orgânica e ρ-NA de um efluente industrial a partir da utilização de carvão ativado. Foi feita a comparação de eficiência entre um carvão ativado comercial e o carvão ativado alternativo de bagaço de cana-de-açúcar desenvolvido para este trabalho. Foram realizados ensaios de cinética que apresentaram redução de 40% de carga orgânica e 59% de ρ-NA para o carvão comercial e 48% de carga orgânica e 43% de ρ-NA para o carvão alternativo. Para esse mesmo tempo, foram realizados os ensaios de isoterma onde foi observado que ambos os carvões realizam melhor adsorção com massa maior de adsorvente e que ambos apresentam uma maior interação com a ρ-NA do que com a carga orgânica. Desta forma, concluiu-se que o carvão ativado alternativo desenvolvido para esse estudo, apresenta um grande potencial para uso como adsorvente e pode ser empregado no tratamento deste efluente em questão.

**PALAVRAS-CHAVE**: Carvão ativado, cana-de-açúcar, adsorção.

## APPLICATION OF ALTERNATIVE COAL IN INDUSTRIAL WATER TREATMENT

**ABSTRACT:** The present work evaluates the efficiency of removal of organic load and ρ-NA from an industrial effluent using activated carbon. An efficiency comparison was made between a commercial activated carbon and the alternative sugarcane bagasse activated carbon developed for this work. Kinetic tests were performed that showed a reduction of 40% of organic load and 59% of ρ-NA for commercial coal and 48% of organic load and 43% of ρ-NA for alternative coal. For the same time, isotherm tests were carried out, where it was observed that both carbons perform better adsorption with greater adsorbent mass and that both present a greater interaction with ρ-NA than with the organic load. Thus, it was concluded that the alternative activated carbon developed for this study has great potential for use as an adsorbent and can be used in the treatment of this effluent in question.

**KEYWORDS:** Activated carbon, sugar cane, adsorption.

## 1 I INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, a preocupação com os danos causados ao meio ambiente vem crescendo cada vez mais. Os efluentes das

indústrias produtoras de nicarbazina apresentam compostos como matéria orgânica, sulfato, amônia e o DNC (4,4’-dinitrocarbonilida) em sua composição, sendo de extrema importância realizar o tratamento do mesmo. O Brasil é um grande exportador e produtor de carne de frango, e para suprir a demanda são empregados, no processo de criação de aves de cortes, aditivos nas alimentações das aves de forma a melhorar o desempenho destas e evitar enfermidades.

A nicarbazina é um tipo de aditivo aplicado em processos de criação de aves para abate, conhecidos como anticoccidianos, capazes de inibir a doença infecciosa coccidiose. Dentre os compostos presentes no complexo da nicarbazina o DNC é responsável por empregar a função da atividade anticoccidiana, porém no processo de sintetização do DNC, utiliza-se a substância ρ-nitro-anilina (ρ-NA) como matéria-prima. A ρ-NA apresenta toxicidade e atividade carcinogênica aos seres humanos quando encontrada em grande quantidade nas aves a serem consumidas como alimento (BACILA, 2019). A atividade tóxica e carcinogênica da ρ-NA é devido à presença do grupo funcional amina estar ligada ao anel aromático, esse composto pode causar problemas ao rim, assim como a diminuição de oxigênio do sangue (BACILA, 2019).

O descarte de efluentes tratados ou não, que são oriundos de atividades industriais, devem obedecer aos limites padrões legais de emissão e de qualidade, e são determinados através das análises físicas, químicas e biológicas. Dentre os parâmetros físicos a serem analisados, há a quantidade de sólidos suspensos e sólidos sedimentáveis, coloração do efluente, turbidez e temperatura. O parâmetro biológico mais aplicado é a $DBO_5$ (Demanda Bioquímica de Oxigênio 5) e análises de microscopia para averiguação da biota presente. Já nos parâmetros de análises químicas estão presentes o pH, composição e DQO (Demanda Química de Oxigênio), um método quantitativo que representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente em uma amostra em condições controladas, sendo a análise mais importante para levantamento da eficiência do processo de tratamento (SCHLUSAZ, 2014).

Estudos vêm sendo realizados de forma a encontrar alternativas baratas e eficazes para o tratamento de efluentes industriais. Um processo promissor é a adsorção, onde muitos estudos (ARAÚJO, *et al*., 2018; PAZ, GARNICA e CURBELO, 2018; SOARES, 2014) já apresentaram sua eficiência na remoção de contaminantes em meio aquoso. De forma a deixar este processo ainda mais viável, temos a utilização de carvão alternativo obtido através da biomassa. A adsorção é um processo de transferência de massa, onde os poluentes (adsorvatos) ficam retidos na superfície do adsorvente. Para que o adsorvente seja eficiente e realize uma boa adsorção é importante possuir uma elevada área superficial e ser o mais poroso possível (NASCIMENTO, *et al*., 2014).

O carvão ativado (CA) é uma substância de carbono puro e altamente poroso, sendo dessa forma um material com alta capacidade de coletar seletivamente as impurezas em

seus poros. Devido a esta alta capacidade de adsorção o CA é utilizado em diversos processos como tratamento de água, tratamento de efluente, purificação de líquidos ou gases, em forma farmacêutica para desintoxicação etc. (SOARES, 2014). Qualquer material que possua um alto teor de carbono é capaz de ser convertido em CA. Essa conversão é comumente obtida através da pirólise, processo realizado a uma temperatura de 500 a 800 °C com baixo teor de oxigênio (KEHL, 2015). Nesta etapa o carvão apresenta uma estrutura com menor área superficial e poros pouco funcionais, sendo necessária a ativação para desobstrução e aumento do diâmetro dos poros (SOARES, 2014). O bagaço da cana-de-açúcar corresponde ao material fibroso que permanece após a moagem desta, é um material rico em biomassa lignínica celulósica e representa cerca de 30% da massa da cana (PAZ, GARNICA e CURBELO, 2018).

O presente trabalho visou utilizar o processo de adsorção para tratar efluentes industriais farmacêuticos através da produção de um carvão alternativo de bagaço de cana-de-açúcar, de modo a reduzir a carga orgânica e a ρ-NA do efluente. Foi feita a comparação de eficiência entre o carvão ativado comercial e o carvão ativado alternativo desenvolvido para este trabalho.

## 2 I MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia apresentada neste trabalho é baseada nos ensaios estudados por Soares (2014). Ela consiste em três etapas principais: o preparo das amostras, o processo de adsorção e as análises do efluente tratado.

### 2.1 Obtenção das amostras

A biomassa utilizada para sintetização do carvão ativado estudado foi o bagaço da cana-de-açúcar, resíduo obtido através do processo de extração do sólido-líquido do colmo por moagem.

### 2.2 Preparo das amostras de carvão ativado a partir do bagaço da cana

O bagaço residual da moagem foi submetido à lavagem com água destilada em um processo de batelada e sujeito a uma agitação prolongada por um período de 2 horas, através de uma placa agitadora (marca Fisatom) e um peixe magnético. O material de bagaço apresentou grandes dimensões dos grãos moídos, assim, fez-se necessário promover uma moagem em um liquidificador caseiro durante um período de 03 minutos com adição de 250 mL de água. Após o procedimento para remoção das impurezas e moagem, realizou-se a secagem do material dispondo a uma estufa (marca Fanem) por volta dos 70 °C em um período de 6 horas.

## 2.3 Síntese do carvão ativado alternativo

A massa de cana-de-açúcar obtida na moagem foi submetida a um sistema contendo ácido fosfórico ($H_3PO_4$) 20%, sendo a razão entre os volumes ácido/bagaço igual a 2. O sistema foi operado em agitação constante por 2 horas. Após o tempo decorrido, o material foi filtrado e seco em uma estufa por 6 horas a 70 °C.

Para obtenção do carvão, o tratamento térmico foi realizado em uma mufla (marca EDG 300) disponibilizada pelo laboratório da Universidade São Francisco (USF). O procedimento teve início em temperatura ambiente a qual foi gradualmente aumentada a uma taxa de 10 °C/minuto até chegar a 400 °C, e permaneceu nesta temperatura por um período de 3 horas.

## 2.4 Adsorção

O estudo foi realizado utilizando como solução padrão de análise uma amostra coletada no sistema de ETE no ponto de entrada da lagoa de estabilização da indústria denominada neste trabalho de Indústria X. Com as informações obtidas no estudo laboratorial, foi possível determinar a eficiência e assim a viabilidade da implementação do processo de adsorção no processo desta ETE.

## 2.5 Caracterização dos carvões ativado e do efluente

A avaliação de estrutura do carvão ativado comercial e alternativo foi realizada utilizado um microscópio óptico (marca Nikon).

O pH do efluente foi aferido através de um pHmetro (marca Digimed) e já estava calibrado para utilização.

As concentrações iniciais de ρ-NA e DQO foram realizadas através de um laboratório externo.

## 2.6 Cinética de adsorção

Para a realização dos ensaios em batelada de cinética de adsorção foram colocados, em cada um dos seis Erlenmeyer, 100 mL do efluente a ser estudado em conjunto com 1,00 g do carvão. Os tempos estudados foram 5, 10, 20, 30, 40, 50 e 60 minutos. O sistema foi submetido à agitação e temperatura constante.

Foram testados modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem e de pseudo-segunda ordem. O de pseudo-primeira ordem é responsável por determinar se a cinética de adsorção é controlada por difusão externa, e dessa forma, independe da concentração do adsorvato. Este modelo é determinado pela Equação 1 (da SILVA, *et al.,* 2018).

$$q(t) = q_e(1 - e^{-k_1 t}) \quad (1)$$

Onde: $q(t)$ – quantidade adsorvida no tempo t (mg $g^{-1}$); $q_e$ – quantidade de soluto adsorvido no equilíbrio (mg $g^{-1}$); $k_1$ – constante de velocidade de pseudo-primeira ordem ($min^{-1}$); $t$ - tempo (min).

No modelo cinético de pseudo-segunda ordem, a taxa de adsorção depende da quantidade adsorvida na superfície do adsorvente, e também da quantidade adsorvida no equilíbrio. Ele é representado pela Equação 2 (da SILVA, *et al.,* 2018).

$$q(t) = \frac{k_2 q_e^2 t}{1 + k_2 q_e t} \quad (2)$$

Onde: $q(t)$ – quantidade adsorvida no tempo t (mg $g^{-1}$); $q_e$ – quantidade de soluto adsorvido no equilíbrio (mg $g^{-1}$); $k_2$ – constante de velocidade de pseudo-segunda ordem (g mg $min^{-1}$); $t$ - tempo (min).

## 2.7 Isoterma de adsorção

Para a realização dos ensaios de isoterma de adsorção foram utilizados 6 Erlenmeyer. Em cada Erlenmeyer foram adicionados 100 mL do efluente, e uma quantidade conhecida de massa de carvão, sendo essa quantidade, em gramas, igual a: 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5. O tempo de operação foi escolhido em função da melhor adsorção apresentada na cinética. O sistema operou à temperatura ambiente e agitação constante.

Foram aplicados dois modelos para determinação de que tipo de adsorção ocorreu. O modelo de Langmuir foi ajustado utilizando a Equação 3.

$$q_e = \frac{q_{max} K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (3)$$

Onde: $q_e$ – quantidade de soluto adsorvido no equilíbrio (mg $g^{-1}$); $q_{max}$ – capacidade máxima de adsorção (mg $g^{-1}$); $K_L$ – constante de interação adsorvato/adsorvente (L $mg^{-1}$); $C_e$ – concentração de adsorvato no equilíbrio (mg $L^{-1}$).

O fator de separação foi determinado através da Equação 4.

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0} \quad (4)$$

Já o modelo de Freundlich, foi ajustado pela Equação 5.

$$q_e = K_F C_e^{\frac{1}{n}} \qquad (5)$$

Onde: $q_e$ - quantidade de soluto adsorvido (mg $g^{-1}$); $C_e$ - concentração de equilíbrio em solução (mg $L^{-1}$); $\frac{1}{n}$ – constante relacionada à heterogeneidade da superfície; $K_F$ - constante de capacidade de adsorção de Freundlich ($mg^{1-(1/n)}$ ($g^{-1}$)$L^{1/n}$).

As constantes $q_{max}$, $K_L$, $K_F$ e $1/n$ foram obtidas através do teste de hipótese Solver, disponível no Excel.

### 2.8 Análises: DQO, espectrofotometria

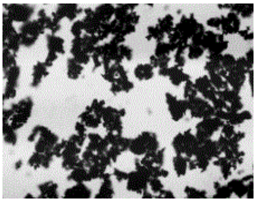
A análise espectrofotométrica foi realizada para determinação da concentração de ρ-NA nas amostras. Inicialmente foi utilizado o espectrofotômetro UV-VIS (marca BEL Photonics) para determinar o comprimento de onda de leitura do ρ-NA, utilizando como base o experimento de Lunagariya; Dhar; Vekariya (2017).

Para as análises, foi utilizado o espectrofotômetro UV (marca LGI Scientific) no comprimento de onda determinado (444 nm). Foi construída a curva de calibração e as concentrações de ρ-NA nas amostras antes e depois dos ensaios de adsorção foram analisadas. Como padrão foi utilizada a água destilada.

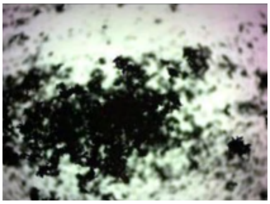
## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Caracterizações

Utilizando o microscópio foi possível compreender a estrutura do carvão ativado comercial (CAC) e do carvão ativado alternativo (CAA), os quais são apresentados na Figura 1.



(a)



(b)

Figura 1 - (a) Resolução de 100x CAC (b) Resolução de 100x CAA

Fonte: Próprio autor.

Através da Figura 1 pode-se perceber uma regularidade nas partículas do CAC,

tanto na sua distribuição como no seu formato, ao contrário do CAA, que não apresenta uma uniformidade entre seus grãos, sendo necessário um estudo para melhorar sua maceração após sair da mufla, melhorando assim sua distribuição e superfície de contato.

A amostra em estudo trata-se de um efluente carregado em sua composição por substâncias químicas como carga orgânica e ρ–NA. As características iniciais do efluente são apresentadas na Tabela 1 e seu aspecto inicial é apresentado na 2.

| | |
|---|---|
| **pH inicial** | 7,35 |
| **DQO inicial** | 37150 mg/L |
| **ρ-NA inicial** | 0,13 g/g |

Tabela 1 - Condições iniciais da amostra

Fonte: Próprio autor.



Figura 2 - Coloração inicial da amostra.

Fonte: Próprio autor.

### 3.2 Curva de Calibração da ρ-NA

A Figura 3 apresenta a curva de calibração obtida para a ρ-NA. O $R^2$ obtido indica boa representatividade da concentração em relação à absorbância.

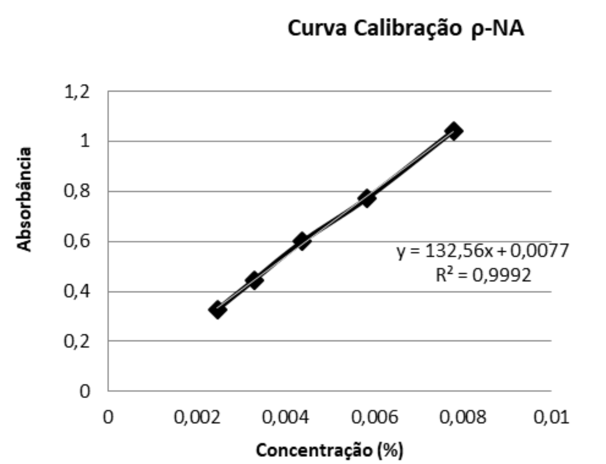



Figura 3 - Curva de calibração da ρ-NA.

Fonte: Próprio autor.

### 3.3 Cinética de adsorção

Os ensaios de cinética foram elaborados de modo a determinar o tempo em que o sistema apresentasse a melhor eficiência de remoção, para assim serem feitos os ensaios

de isoterma de adsorção. Tais ensaios foram realizados em duplicata. Constatou-se que, para o CAC, o tempo que apresentou maior taxa de remoção para carga orgânica foi de 05 minutos e para a ρ-NA foi de 20 minutos. Já para o CAA ambas as taxas de remoção foram melhores em 05 minutos. A Figura 4 apresenta o gráfico de cinética de adsorção de DQO e ρ-NA.

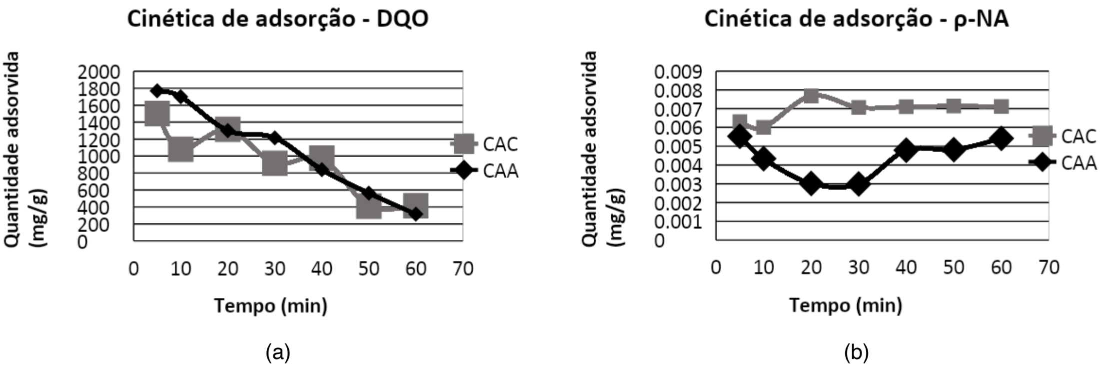



Figura 4 - (a) Cinética de adsorção - DQO (b) Cinética de adsorção - ρ-NA.

Fonte: Próprio autor.

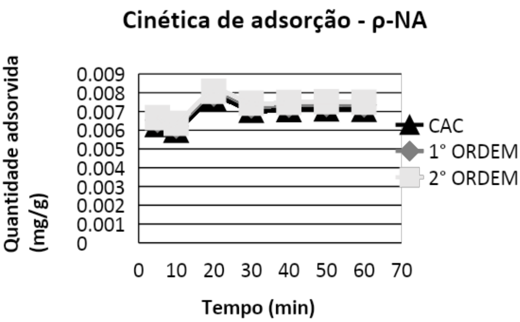
Analisando os gráficos apresentados, é possível observar que a carga orgânica no CAC apresenta grande adsorção inicial seguida de dessorção. Uma explicação é que no início, os sítios ativos mais externos do carvão estão sendo consumidos. A carga orgânica apresenta moléculas de tamanhos variados, o que indica que partículas grandes não são possíveis de serem adsorvidas nos poros. A dessorção indica pouca estabilidade no processo de adsorção da carga orgânica. Já para a ρ– NA, cujas partículas são menores apresenta crescente adsorção até os 30 min para o CAC, quando atinge o equilíbrio.

Dessa forma é observado que a ρ–NA e a carga orgânica, que é representada pelo DQO, indicam uma afinidade com o CAC, porém, a ρ-NA apresenta uma afinidade maior com o CAC quando comparado com a carga orgânica, resultando, ao longo do tempo, uma obstrução nos sítios ativos, fazendo com que outros componentes sejam dessorvidos, provocando desta maneira um aumento da concentração de carga orgânica na fase líquida.

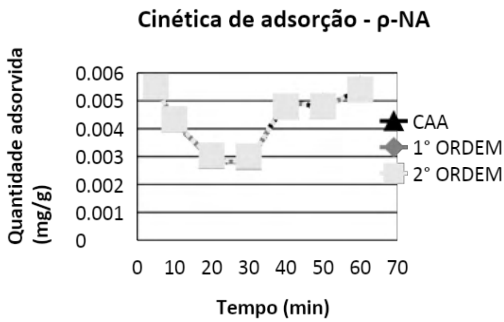
Já no CAA percebe-se que ambos componentes são melhores adsorvidos no início do processo, em 05 minutos, e que a carga orgânica também sofre o processo de adsorção e dessorção ao longo do tempo, embora seja de forma mais suave do que com o CAC. Para a ρ-NA, a dessorção também ocorre após os minutos iniciais, porém, a adsorção volta a ocorrer depois dos 40 minutos, indicando uma boa afinidade entre a molécula de ρ-NA e o CAA, no ensaio de cinética não ocorreu a adsorção completa, demonstrando que é necessário um tempo de ensaio maior que uma hora para que a adsorção ocorra.

Pelo fato da cinética de DQO apresentar adsorção e dessorção ao longo do processo, não foi possível estabelecer os modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem nem pseudo-segunda ordem para estes ensaios. Para a ρ-NA foi possível encontrar os modelos cinéticos e a Figura 5 apresenta esses modelos.

A Tabela 2 apresenta os valores da quantidade de soluto adsorvido no equilíbrio, das constantes de velocidade e o erro dos modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem.




(a)




(b)

Figura 5 - (a) Cinética de adsorção - CAC (b) Cinética de adsorção - CAA.

Fonte: Próprio autor.

| Modelos | | CAC | CAA |
|---|---|---|---|
| | $q_e$ (mg g$^{-1}$) | 0,25 | 0,24 |
| **Pseudo-primeira ordem** | $K_1$ (min$^{-1}$) | 4,25 | 4,17 |
| | Erro | 3,95x10$^{-7}$ | 3,88 x10$^{-10}$ |
| | $q_e$ (mg g$^{-1}$) | 0,23 | 0,23 |
| **Pseudo-segunda ordem** | $K_2$ (g mg min$^{-1}$) | 20,09 | 19,84 |
| | Erro | 1,01 x10$^{-6}$ | 1,76 x10$^{-9}$ |

Tabela 2 - Modelos cinéticos de pseudo primeira ordem e pseudo-segunda ordem.

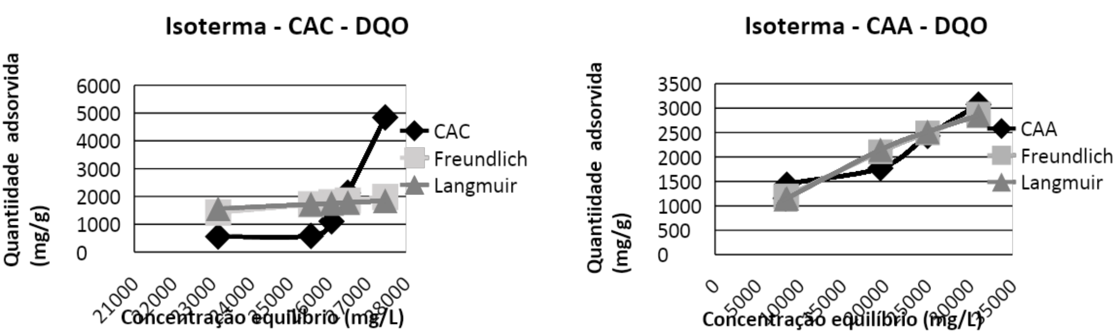
Fonte: Próprio autor.

Com isso é visto que o modelo de pseudo-primeira ordem é o que melhor representa a cinética da ρ-NA para ambos os carvões, já que este modelo apresenta o menor erro, e que a constante cinética que expressa que a constante de velocidade é 4,25 min$^{-1}$ para o CAC e 4,17 min$^{-1}$ para o CAA.

## 3.4 Isoterma de adsorção

Os ensaios de isoterma foram baseados no melhor tempo de cinética de adsorção de carga orgânica para o CAC, já que este foi o primeiro ensaio realizado e, portanto, aquele em que a empresa que forneceu os ensaios de DQO realizou os testes primeiro. Determinado o tempo da cinética (05 minutos), foi realizado o ensaio da isoterma. A massa do carvão foi variada, obtendo-se 05 pontos que são apresentados nas Figuras 6 e 7. Foram realizados também os cálculos para os modelos de Langmuir e Freundlich, que também são representados a seguir.

Observa-se que a isoterma de DQO obtida no experimento com CAC (Figura 6a) é caracterizada como desfavorável, ou seja, a força de interação entre o adsorvente e o adsorvato é fraca, além de ser caracterizada como uma adsorção como física, e desta forma, é possível o estudo da aplicação da recuperação do adsorvato.




(a) (b)

Figura 6 - (a) Isoterma de adsorção - CAC - DQO (b) Isoterma de adsorção - CAA - DQO.

Fonte: Próprio autor.

| | Langmuir | | Freundlich | |
|---|---|---|---|---|
| | $q_{max}$ | $R_L$ | $n$ | $K_F$ |
| **CAC** | 64353 | 1,04 | 0,51 | $4{,}53 \times 10^{-6}$ |
| **CAA** | 6358 | 1,97 | 1,49 | 0,64 |

Tabela 3 - Parâmetros calculados para isoterma de Langmuir e Freundlich.

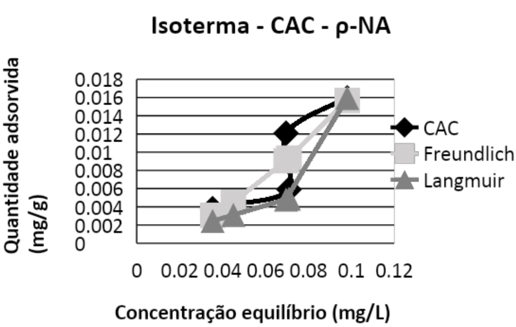
Fonte: Próprio autor.

A obtenção dos resultados da isoterma apresentou que a carga orgânica é removida com uma baixa interação em relação ao carvão, mesmo com um aumento significativo na massa de carvão, visando aumentar a eficiência de remoção, isso não ocorreu, pois a massa de adsorvato retida por unidade de carvão é pequena, resultando em uma isoterma

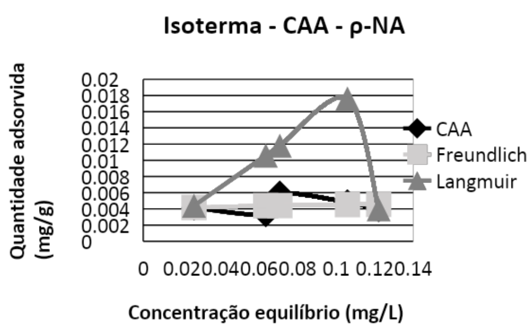
desfavorável em relação ao DQO. Fato que pode ser comprovado devido ao valor de $R_L$ ser maior do que 1, indicando que o soluto prefere a fase líquida à sólida e reafirmado pelo baixo valor de *n*, já que quanto maior for o *n*, mais forte é a interação entre o adsorvato e o adsorvente.

Para o CAA (Figura 6b), o modelo de isoterma que melhor representou a curva foi o Tipo L-4, especificando que os sítios ativos vão sendo consumidos ao longo do tempo. Ao contrário do CAC, o aumento da massa de carvão foi responsável por um aumento na eficiência na taxa de remoção de carga orgânica, tendo a eficiência máxima em 2,5 g igual a 78%, ao contrário do CAC, onde mesmo sendo a maior massa, a eficiência é de apenas 38%. Como ocorre com o CAC, o soluto prefere a fase líquida ao CAA, fato comprovado pelo $R_L$ ser maior do que 1, porém, com este carvão o valor de *n* indica que a adsorção é favorável ($1<n<10$).

A constante $K_F$ indica a capacidade de adsorção do adsorvente, e quanto maior for seu valor, maior será a capacidade de adsorção. Com isso, é possível comprovar a capacidade de adsorção do CAA ser muito maior do que do CAC.




(a)




(b)

Figura 7**-** (a) Isoterma de adsorção - CAC - ρ-NA (b) Isoterma de adsorção - CAA - ρ-NA

Fonte: Próprio autor.

| | Langmuir | | Freundlich | |
|---|---|---|---|---|
| | $q_{max}$ | $R_L$ | $n$ | $K_F$ |
| **CAC** | 19418 | 1,00 | 0,63 | 2,76 |
| **CAA** | 19418 | 1,00 | 16,79 | $5{,}18 \times 10^{-3}$ |

Tabela 4 - Parâmetros calculados para isoterma de Langmuir e Freundlich.

Fonte: Próprio autor.

Já para isoterma da ρ–NA (Figura 7), foi observado a alta afinidade entre adsorvente

e adsorvato, e possui alta adsorção no período inicial, atingindo o equilíbrio logo após. Dessa maneira, pode ser caracterizada pala isoterma de curva H-4. É possível reafirmar desta forma o que foi identificado nos ensaios de cinética, a alta afinidade entre a ρ–NA e o CAC, já que mesmo para uma baixa quantidade de carvão a taxa de remoção de ρ–NA foi alta sendo de 73%, um valor mais favorável quando comparado com a taxa de remoção de carga orgânica com valor igual a 38%.

Assim como a curva do CAC, a curva do CAA é representada pela isoterma de curva H-4, apresentando alta afinidade entre adsorvente e adsorvato. Embora o CAA apresente uma boa afinidade com ambos os componentes estudados neste trabalho, é visto que a ρ–NA, embora ligeiramente, possui uma afinidade maior com o carvão do que a carga orgânica, e desta maneira a taxa de remoção deste componente foi maior, sendo igual a 80%, enquanto a taxa de remoção da carga orgânica foi de 78%.

Para a ρ–NA temos ambos os carvões representados pelo parâmetro linear ($R_L = 1$), porém, o parâmetro *n* para o CAC apresentou maior afinidade com o solvente, enquanto o CAA apresenta um alto valor de *n*, indicando que a interação entre adsorvente e adsorvato é forte. Já pela constante $K_F$ vê-se que a capacidade de adsorção do CAC é maior do que do a do CAA.

### 3.5 Rota de descarte

Para obtenção da matéria prima do bagaço da cana-de-açúcar, parcerias com pequenos produtores que não possuem condições de gerar fonte de energia ou fertilizantes a partir dos resíduos, devem ser realizadas. Assim é possível obter esta matéria prima por um custo mais baixo e sendo lucrativa para ambas as partes. Além disso, o carvão ativado alternativo é biologicamente mais adequado quando comparado o carvão ativado comercial. Pelo fato do carvão comercial ser de origem mineral, não é possível ser levado a um processo de incineração, ao contrário do carvão alternativo, que é de fonte orgânica e assim a incineração é uma rota de descarte mais sustentável e barata.

## 4 | CONCLUSÃO

O presente trabalho realizou o estudo do teste de remoção de carga orgânica e ρ–NA de um efluente industrial, utilizando o carvão ativado comercial e o carvão alternativo que foi sintetizado a partir do bagaço da cana-de-açúcar.

Para implementação do projeto com eficácia, mais estudos devem ser aprofundados sobre condições operacionais, tais como: pH, temperatura, agitação, concentração e tempo de contato, a fim de encontrar condições de operações que permitem o favorecimento do aumento da eficiência de remoção de ambos os compostos. Estudos sobre a produção do carvão também devem ser aprofundados, como a melhoria na obtenção da granulometria e

morfologia do carvão, com o objetivo de aumentar a área de contato, promovendo um maior favorecimento da capacidade de adsorção do carvão por unidade de massa.

Os testes de cinética mostraram que o CAC apresenta maior afinidade com a ρ–NA do que com a carga orgânica, sendo esta dessorvida ao longo do tempo. O mesmo ocorre para o CAA, embora de maneira mais sutil. Os resultados obtidos na isoterma de CAC apresentam que ocorre uma baixa interação entre carvão e carga orgânica, o que é confirmado pelos parâmetros $R_L$ e *n*. Já para o CAA, uma maior afinidade foi constatada, porém, observa-se que ocorre a diminuição da disponibilidade dos sítios ativos pela ocupação da ρ–NA nos mesmos. Os resultados obtidos pela isoterma de ρ–NA para o CAC demonstrou uma alta afinidade entre adsorvente e adsorvato, assim como o CAA.

Sendo assim, foi determinado, após todos os ensaios apresentados neste trabalho, que o carvão alternativo ativado com $H_3PO_4$, desenvolvido para esse estudo apresenta um grande potencial para uso como adsorvente na remoção de ambos os componentes, com taxas de remoção igual a 78% de carga orgânica e 80% de ρ–NA em condições de operação de 05 minutos e 2,5 gramas de adsorvente.

## REFERÊNCIAS


ARAÚJO, P. C. C.; GONÇALVES JÚNIOR, D. R.; CARDOZO-FILHO, L.; MARQUES, J. J.; SANTOS, E. J. 2018. **Uso de carvão ativado na remoção de $CO_2$**. Scientia Plena, Sergipe, v. 14, n. 5.

BACILA, D. M. 2019. **Efeito dos tratamentos térmicos convencionais no resíduo da nicarbazina e monitoramento do seu produto de degradação na carne de frango**. Orientadora: Profa. Dra. Luciana Igarashi Mafra. Tese de Doutorado, Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.

da SILVA, J.E.; RODRIGUES, F. I.L.; PACÍFICO, S. N.; SANTIAGO, L. F.; MUNIZ, C. R.; SARAIVA, G. D.; NASCIMENTO, R. F.; SOUSA NETO, V. O. 2018. **Estudo de Cinética e Equilíbrio de Adsorção Empregando a Casca do Coco Modificada Quimicamente para a Remoção de Pb(II) de Banho Sintético.** Revista Virtual de Química, v. 10, n. 5, *no prelo.* ISSN 1984-6835.

KEHL, C. C. P. L. 2015. **Remoção de nitrogênio amoniacal por adsorção em carvão ativado**. Orientador: Mariliz Guterres. Trabalho de Diplomação em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

LUNAGARIYA, J.; DHAR, A.; VEKARIYA, R. L. 2017. ***Efficient esterification of: N -butanol with acetic acid catalyzed by the Brönsted acidic ionic liquids: Influence of acidity***. RSC Adv.. 7. 5412-5420. 10.1039/C6RA26722J.

NASCIMENTO, R. F. D.; LIMA, A. C. A.; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; RAULINO, G. S. C. 2014. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza: Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará (UFC). ISBN 978-85-7485-186-0.

PAZ, J. E. D. M.; GARNICA, A. I. C.; CURBELO, F. D. D. S. 2018. **Estudo da adsorção de chumbo utilizando como adsorvente bagaço de cana de açúcar ativado**. HOLOS, v. 8, p. 3-18, 19 Dezembro 2018. ISSN 1807-1600. Acesso em: 23 abril 2021. Desponível em: doi:https://doi.org/10.15628/holos.2018.7544.

SCHLUSAZ, M. 2014. **Avaliação da eficiência da estação de tratamento de efluentes (ETE – ronda, ponta grossa – PR) através da análise de parâmetros físico-químicos**. Orientador: Prof. Dr. Ciro Maurício Zimmermann. Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharel em Engenharia Química. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Brasil.

SOARES, L. A. 2014. **Síntese, ativação e caracterização de carvão obtido a partir do bagaço de cana-de-açúcare avaliação da capacidade de adsorção**. Orientadora: Profª. Drª. Márcia Maria Lima Duarte. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil.

# CAPÍTULO 9

# ESTUDO DA TRANSFORMAÇÃO DO LODO GERADO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES EM PRODUTO COMERCIAL AGRÍCOLA

**Jaqueline Paz de Oliveira**
Universidade São Francisco
Campinas- São Paulo
https://orcid.org/0000-0003-3637-4445

**Mislaini de Sá Viana**
Universidade São Francisco
Campinas-São Paulo
https://orcid.org/0000-0002-0281-1216

**André Augusto Gutierres Fernandes Beati**
Universidade São Francisco
Campinas-São Paulo
https://orcid.org/0000-0001-7578-9972

**Renata Lima Moretto**
Universidade São Francisco
Campinas-São Paulo
https://orcid.org/0000-0001-7431-1651

**Laira Lúcia Damasceno de Oliveira**
Universidade São Francisco
Campinas- São Paulo
https://orcid.org/0000-0001-6804-0082

**RESUMO:** A utilização do subproduto (biossólido) em áreas como na agricultura, surge como alternativa sustentável considerando a qualidade do solo e água. Os tratamentos geram subprodutos que vêm se apresentando muito promissores no mercado, principalmente se visto de maneira sustentável, pois é um composto com valor agregado, aumenta a produtividade de cultivos agrícolas e gera uma nova atividade econômica, bem como social, um clássico exemplo de economia circular. Neste contexto, o estudo demonstrou a prática, através da técnica de compostagem do lodo de ETE (Estação de Tratamento de Efluentes), analisando a possibilidade de atender de forma segura as legislações vigentes do MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), no qual certifica o uso seguro do produto na agricultura. Para tal foram executados processos como a adição de pó de serra sobrepondo em camadas alternadas com o lodo de ETE (pequena escala de revolvimento manual). Propondo uma análise comparativa de um sistema de grande proporção, foi realizada uma visita técnica à empresa TERA Ambiental Ltda, localizada na cidade de Jundiaí-SP, onde foram analisados a suas etapas, desde a chegada do resíduo à sua comercialização. Foram também realizadas algumas análises com a prática de vermicompostagem para possível aceleração (pequena escala), utilizando minhocas em seu processo. Parâmetros físico-químicos como: pH, temperatura, nitrogênio e outros foram comparados entre as práticas e a legislação vigente. A partir dos dados obtidos com as práticas apresentadas, foi possível verificar o grande potencial para utilização desse subproduto, uma vez que este apresentou altos índices de nutrientes em seu composto, como exemplo a matéria orgânica estando acima de 60%, sendo considerado como ótimo na escala analisada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodo. Tratamento. Resíduos. Agricultura.

## STUDY OF THE TRANSFORMATION OF THE SLUDGE GENERATED IN EFFLUENT TREATMENT STATION IN AGRICULTURAL COMMERCIAL PRODUCT

**ABSTRACT:** The use of this by-product (biosolid) in other areas such as agriculture, appears as a sustainable alternative considering the quality of soil and water. The treatments generate by-products that increase if it is very promising in the market, especially if seen in a sustainable way, as it is a compound with added value, increases the productivity of agricultural crops and generates a new economic as well as social activity, a classic example of economics circular. In this context, the study applies to practice, through the technique of composting the sludge from ETE (Effluent Treatment Station), analyzing the possibility of providing safe care according to the current legislation of MAPA (Ministry of Agriculture, Livestock and Supply) , which certifies the safe use of the product in agriculture. To this end, there were gains such as the addition of saw dust overlaying alternate layers with ETE sludge (small scale of manual turning). Proposing a comparative analysis of a large proportion system, a technical visit was made to the company TERA Ambiental Ltda, located in the city of Jundiaí-SP, where the steps were taken, from the arrival of the waste to its commercialization. Some analyzes were also carried out with the practice of vermicomposting for possible acceleration (small scale), using earthworms in its process. Physicochemical parameters such as: pH, temperature, nitrogen and others were compared between current practices and legislation. From the data obtained with the practices, it was possible to verify the great potential for the use of this by-product, since it presents high levels of nutrients in its compost, for example, organic matter above 60%, being considered as great in the analyzed scale .
**KEYWORDS:** Sludge. Treatment. Waste. Agriculture.

## 1 | INTRODUÇÃO

Segundo von Sperling (2005), a remoção dos poluentes no tratamento, deve se adequar ao lançamento a uma qualidade ou padrão vigente que se associa aos conceitos de nível do tratamento e sua eficiência. Para Metcalf e Eddy (2013), os processos de tratamento de efluentes podem variar entre países, sendo que no Brasil, são utilizados processos unitários físicos, químicos e biológicos. Os processos de tratamentos físicos consistem em métodos com forças físicas, que são: gradeamento, floculação, sedimentação, filtração entre outras. Já os processos de tratamentos químicos, são aqueles em que são submetidos a adição de produtos químicos, que consequentemente provocarão reações químicas para a remoção de contaminantes, tais como desinfecção, precipitação e adsorção. Já o processo de tratamento biológico utiliza métodos de remoção através de atividade biológica de algas, bactérias, protozoários, nematóides, vermes, insetos e larvas. Normalmente, os métodos realizados em sistemas de ETE’s convencionais, aplicam cinco etapas estabelecidas: pré-tratamento (ou tratamento preliminar), tratamento primário, secundário, terciário e do lodo.

Sabe-se que grande parte do esgoto que é coletado no Brasil, apenas uma fração

é tratada, de acordo com os dados da Trata Brasil[1], apenas 46% dos esgotos recebem tratamento. Portanto, a maior parcela dos esgotos é lançada sem qualquer tipo de tratamento, o que prejudica a qualidade deste corpo receptor, causando vários danos ambientais, tais como:

- Poluição do corpo hídrico que origina o desequilíbrio do ecossistema aquático prejudicando a sua biota, ocasionando a mortandade de peixes e outras espécies;
- Poluição visual ocorrendo mudança da estética do local;
- Alto risco de transmissão de doenças devido à exposição humana, como: cólera, leptospirose, giardíase, amebíase, ascaridíase ou lombriga, devido a essa atividade errônea, do não tratamento eficaz e adequado do efluente.

Assim como forma de conter e controlar a qualidade dos corpos hídricos, é necessário que antes do seu despejo, os mesmos sejam submetidos ao tratamento e estejam de acordo com os padrões impostos pela resolução CONAMA 430 de 2011, que dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes nos corpos d'água e assim haja a descarga do efluente de forma a respeitar a Classe do corpo hídrico, ou seja, preservando a qualidade do corpo receptor.

Segundo dados da Agência Nacional das Águas (ANA), em média a composição do esgoto sanitário é de 99,9% de água e 0,1% de sólidos, sendo que cerca de 75% desses sólidos são constituídos de matéria orgânica em processo de decomposição. Assim há a necessidade de se realizar o tratamento das águas residuárias e sua crescente no que diz respeito ao número de ETE's com a finalidade de tratar o efluente e atender as exigências de qualidade compatível ao previsto na Resolução (Nº 430/2011 CONAMA). As etapas para a realização de seu tratamento, gera um grande volume de lodo, também conhecido por biossólido, o que para Bittencourt et al. (2012) é considerado um desafio para as empresas de saneamento, pelo fato de ser um novo problema gerado, com isso, estudos vêm sendo realizados, para adoção de alternativas para melhor disposição desse resíduo. Algumas alternativas conhecidas de disposição final são: aterro sanitário, incineração, *landfarming*[2], coprocessamento industrial, compostagem, dentre outras (TSUTIYA, 2002; PAREDES FILHO, 2011).

A destinação final mais comum a este biossólido segundo Bringhenti et al. (2013), são os aterros sanitários, porém estes possuem sérios problemas: odores desagradáveis, além do chorume, que é de difícil tratamento por conta da sua recalcitrância, bem como a necessidade de grandes extensões de terra para a sua construção, possível poluição do

1 Instituto Trata Brasil. Estudos, dados e estatísticas do setor. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/esgoto>. Acesso em: 28 Mar. 2019.

2 *Landfarming*: tecnologia de biorremediação que visa reduzir a concentração de contaminantes no solo por ação de microrganismos.

meio através de vazamentos de líquidos e gases, limite da quantidade de despejo de lixo, alteração visual da paisagem composta pelas montanhas artificiais originadas pelo acúmulo de suas camadas de resíduos que foram alocados no mesmo, além de causar elevados custos as ETE’s geradora do lodo. Devido à sua composição, o lodo é considerado de alto poder poluidor, principalmente os industriais, que são classificados como resíduos perigosos. Porém, se devidamente tratado, é importante ressaltar a sua utilização em outras atividades, como na produção de tijolos ecológicos, concretos e combustíveis, na recuperação de áreas degradadas e até mesmo na geração de energia, tornando-se economicamente atrativo (BRINGHENTI et al., 2018).

Neste contexto, com abordagem na questão sustentável, o reaproveitamento do lodo surge como matéria prima para produção de fertilizante orgânico para uso agrícola. A prática de reaproveitamento não é considerada nova, porém surge como crescente no que diz respeito à necessidade de reutilização visada no meio. Chiba (2005), relata que a alternativa mais promissora para a utilização de Lodo de esgoto – LE seria na área da agricultura, uma vez que o mesmo traz benefícios ecológicos referentes à devolução ao solo de carbono orgânico e demais nutrientes que fora utilizado na produção de biomassa vegetal, bem como o social, pela sua possível produtividade de menor impacto de culturas sobre o meio ambiente, isso em relação às demais possibilidades de descarte desse resíduo.

Diante do exposto, a compostagem surge como uma técnica a ser utilizada para estabilização do lodo, onde o seu processo consiste na degradação aeróbia da matéria orgânica, ou seja, uma decomposição sob ação de microrganismos no qual se obtém o composto orgânico homogêneo de cor escura e sem cheiro, que pode ser aplicado em solos e plantações fornecendo melhorias nas suas propriedades físicas, químicas e biológicas (TSUTIYA, 2002; SOUZA; KAWATOKO, 2009). Segundo Tsutiya (2002), para o andamento do processo, existe a necessidade de mistura de outros resíduos junto ao lodo, sendo que estes podem ser restos vegetais, bagaço de cana, palha, podas e galharias, que contribuem como fonte de carbono no processo.

As etapas da compostagem consistem em três fases, sendo elas: mesofílica, termofílica e de maturação. Para andamento das etapas da compostagem, existem algumas técnicas e maneiras, sendo as mais utilizadas: revolvimentos em leiras ou pilhas de revolvimento manual ou com auxílio de tratores, que normalmente são realizados em locais abertos; e por reatores biológicos, cujo sistema é fechado (SOUZA; KAWATOKO, 2009). Após passar pelas três etapas em uma das técnicas desejadas, obtém-se o adubo orgânico que como dito, pode ser aplicado nas culturas. Portanto, para a realização de um estudo de reaproveitamento de lodo de ETE, é imprescindível o conhecimento criterioso do material a ser estudado definindo os processos relevantes, bem como atender às legislações pertinentes do MAPA.

Desta forma, este estudo visou analisar a transformação de um resíduo, no caso lodo de ETE, em um produto fertilizante orgânico composto comercial, com foco principal na sustentabilidade, no sentido de reaproveitar o que geralmente seria pago para ser descartado em aterros sanitários, revertendo em um produto que beneficiará economicamente, bem como ao meio ambiente.

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 Práticas para análises do processo de compostagem em pequena escala

Para a realização do presente estudo por um período de oito semanas (ou 56 dias), foi executada uma prática nomeada Prática I de pequena escala, a fim de representar o processo de compostagem do lodo, utilizando-se a escala de 1:1 em um terreno no bairro

Jardim Amanda 1, localizado na cidade de Hortolândia - SP. De início o solo foi impermeabilizado com lona plástica e embalagem cartonada, para que não houvesse qualquer contaminação. Na leira construída havia 50 quilogramas de lodo e 50 quilogramas de resíduo pó de serra, sendo colocada em duas respectivas camadas, a primeira de lodo e a segunda do resíduo pó de serra, assim sucessivas vezes.

Para que houvesse a proteção contra precipitações pluviométricas, evitando-se a percolação excessiva da água, foi construída uma cobertura com lona plástica. A leira foi revolvida manualmente uma vez por semana, mais especificamente aos domingos no período da manhã e aferida a sua temperatura em cinco pontos respectivos, somados estes e dividido pelo total de suas aferições, obtendo-se assim a média de temperatura. Para as medições, foi utilizado o termômetro modelo KP – 8007 da Knup, a fim de manter estável com o cuidado devido para que este não entrasse em processo de anaerobiose.

Na busca por aceleração do processo, foi efetuada outra prática nomeada de Prática II, que consistiu no método de vermicompostagem, que segundo Landgraf et al. (2006) este processo trata-se da transformação da matéria orgânica recente em estabilizada, efetuadas através das minhocas associado ao seu trato digestivo. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento na sua Instrução Normativa SDA 25, de 23 de Julho de 2009, define o vermicomposto como os compostos que resultam da digestão da matéria orgânica que provém de resíduos como estercos, restos de vegetais e outros orgânicos pelas minhocas.

De acordo com os critérios do MAPA, o vermicomposto que em sua composição utiliza matéria prima de tratamento e despejos sanitários que resultará em produto utilizado na agricultura, recebe a classificação B conforme determina a IN 61/2020 que substituiu a 25/2009. A Prática II apresentou a combinação de lodo de ETE, resíduos pó de serra e minhocas californianas, da espécie *Eisenia fétida*. O processo foi realizado no mesmo terreno da Prática I, no bairro Jardim Amanda 1, localizado na cidade de Hortolândia -

SP, onde foram cometidos dois baldes plásticos de 30 litros cada. Estes foram perfurados na base e na borda superior, sendo que o balde que ficara em baixo teve sua tampa toda cortada sendo acoplado em cima de si outro balde com furos na base, permitindo a transferência das minhocas de um objeto a outro bem como intuito principal de manter ventilação no meio. Os baldes foram dispostos como descrito um sobre o outro, utilizando a escala de 1:1. Portanto foi efetuada a sua montagem intercalando os resíduos lodo de esgoto (LE) e resíduo pó de serra, contendo 10 quilogramas cada, totalizando assim 20 quilogramas de resíduo por balde.

As minhocas da espécie *Eisenia fétida* foram pesadas e colocadas em massas iguais e distribuídas nos dois baldes com 500 gramas cada. Durante os experimentos, padronizou-se revolvimento e medição de temperaturas semanais (uma vez ao dia) assim como o desenvolvido na Prática I, em cinco pontos da prática e assim calculado sua média de temperatura, onde foi somada as respectivas temperaturas e dividido seu valor total por cinco (número de aferições). A prática da vermicompostagem também foi revolvida, porém com um maior cuidado para que as minhocas não fossem prejudicadas negativamente durante esse manuseio, sendo assim a cada realização de revolvimento efetuado, adotou-se o exercício de transpor sob lona plástica esse composto e posteriormente ser revolvido com ferramentas de jardinagem. Para o acompanhamento das Práticas I e II, foram cumpridas as análises laboratoriais mensais, nos quais foram verificados os seguintes parâmetros: pH, Temperatura, Umidade; Relação Carbono/Nitrogênio (C/N); NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio); Carbono orgânico total (COT) e Matéria orgânica total. As análises foram realizadas nos laboratórios da Universidade São Francisco, Campus Swift, Campinas-SP, e no IBRA (Instituto Brasileiro de Análises) localizado na cidade de Sumaré-SP. Na Tabela 1, é possível observar informações sobre as análises realizadas na Universidade e no IBRA, e os seus respectivos métodos utilizados. Os dados obtidos foram comparados com o Manual Prático da Compostagem de Biossólidos, desenvolvido pela Universidade Estadual de Londrina (UEL).

| PARÂMETRO | UNIDADE | MÉTODO | OBSERVAÇÃO |
|---|---|---|---|
| TEMPERATURA | °C | | USF |
| UMIDADE | % | Perda por secagem | IBRA |
| pH | - | | USF |
| NITROGÊNIO | % | Macrométodo da Liga de Raney | IBRA |
| FÓSFORO TOTAL | % | Gravimétrico de Quimociac | IBRA |
| POTÁSSIO TOTAL | % | Espectrométrico por Emissão | IBRA |

| | | | |
|---|---|---|---|
| RELAÇÃO CARBONO / NITROGÊNIO | % | Cálculo | IBRA |
| CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT) | % | Volumétrico do Dicromato de Potássio | IBRA |
| MATÉRIA ORGÂNICA TOTAL | % | Por calcinação | IBRA |

Tabela 1. Parâmetros químicos de análise da Compostagem.

Fonte: Próprio autor.

### 2.2 Visita Técnica

A fim de apresentar o processo de transformação do lodo em fertilizante orgânico composto em macroescala, foi realizada uma visita técnica na empresa TERA Ambiental Ltda, localizada na cidade de Jundiaí-SP. Esta empresa é especializada na valorização de resíduos orgânicos urbanos e agroindustriais através de soluções ambientais como, tratamento de efluentes e compostagem termofílica. O intuito da visita foi descrever o funcionamento de forma minuciosa, desde a chegada do resíduo, até o seu produto final, vigente e de acordo com a legislação apta para comercialização.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Interesse pela compostagem do resíduo de esgoto

Segundo Bringhenti et al. (2018), o lodo de esgoto é caracterizado pela quantidade considerável em matéria orgânica e em macro e micronutrientes para cultivos agrícolas. Visando a questão de reaproveitamento, o processo para transformar esse lodo em um fertilizante, chama atenção para empresas que tratam efluentes. Com base nisso, a empresa estudada TERA Ambiental Ltda, surgiu no mercado com esse propósito, reciclar efluentes biológicos e nunca enviar o lodo proveniente do tratamento para aterro, e sim, destiná-lo adequadamente, aplicando em um novo processo, a fim de transformar em produto com valor agregado para a utilização em outros segmentos.

Em um primeiro momento, após uma demanda da Cia Saneamento de Jundiaí – CSJ, o lodo gerado passava pelo sistema de secagem e em seguida era doado para agricultores da região. Ao longo do tempo, o Engenheiro Agrônomo da empresa, desenvolveu um estudo, no qual resultou o processo de compostagem termofílica, utilizando lodo e outros tipos de resíduos que a empresa recebe para destinação, implantando de fato a planta de compostagem.

### 3.2 Processo de compostagem em grande escala realizado pela empresa em estudo

Conforme observado na visita técnica, para início do processo, o efluente líquido é

recebido via caminhão e descartado nos tanques conforme demonstra a Figura 1A, em um curto período de tempo, aproximadamente treze minutos entre chegada, descarte e saída, considerando essa etapa rápida e efetiva.

O efluente recebido é tratado por processo biológico aeróbio para remoção da carga orgânica, através de lagoas aeradas de mistura completa com difusores de membrana seguidas de lagoas de decantação, apresentadas na Figura 1B e C. Ao final do longo processo, o efluente que foi tratado retorna ao corpo receptor atendendo os padrões impostos pela resolução CONAMA 430 de 2011, e o lodo sanitário gerado, passa pelo processo de desaguamento em decanters centrífugos conforme ilustrado na Figura 1D, sendo a torta de lodo encaminhada para a compostagem. Com base nas informações fornecidas pela empresa, aproximadamente 80 toneladas de lodo desaguado são geradas ao dia, ou seja, 2.400 toneladas ao mês. Na Figura 2, é possível visualizar o processo de tratamento do efluente de forma simplificada.




Figura 1. A) Efluente sendo recebido via caminhão e transferido para os tanques; B) Efluente já em tratamento na Lagoa de Aeração; C) Efluente em tratamento na Lagoa de Decantação; e D) Lodo gerado no tratamento do Efluente no processo de secagem

Fonte: TERA Ambiental Ltda.




Figura 2. Processo do tratamento de efluentes de forma simplificada.

Fonte: TERA Ambiental Ltda.

Na visita técnica, foi possível visualizar o processo de compostagem, que ocorre em ambiente protegido por três galpões metálicos, onde são montadas as leiras. Basicamente, as leiras são construídas na sequência de: lodo, cavaco de madeira não tratada, podas urbanas trituradas, insumos agrícolas diversos e café fora de especificação, porém, é importante ressaltar, que os resíduos podem variar, pois, a montagem é de acordo com a disponibilidade de resíduo que se encontra no momento. Com a ajuda de maquinário específico, o revolvimento é realizado para junção de todos os componentes, conforme mostra a Figura 3 – A, B, C e D. Logo, essas leiras são identificadas com placas, informando uma letra de identificação e data de início da compostagem. Ressalta-se que estas leiras são divididas nos três galpões disponíveis, e em cada um deles, são construídas leiras, com resíduos sólidos diversos.

O processo estabelecido pela empresa ocorre por um período de 60 dias, onde, serão revolvidas em dias alternados para atingir a temperatura necessária para ocasionar a morte dos patógenos, que de acordo com a empresa corresponde à temperaturas médias acima de 55°C. Outro fator que a empresa monitora é a umidade do composto, onde a sua proposta é reduzir este parâmetro a no máximo 40%.

O composto orgânico final deve atender os parâmetros instituídos nas normativas 61/2020 e 07/2016 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Após o período de 60 dias, são realizadas análises neste produto por um laboratório credenciado da empresa, a fim de se adequar para posterior comercialização. Após o processo de peneiramento, o composto é encaminhado para as análises a serem realizadas, e armazenamento para maturação. O produto final é considerado um fertilizante orgânico composto e denominado Terafértil, comercializado a granel para grandes agricultores.




Figura 3. A) Galpão de Compostagem; B) Leira de Compostagem em Revolvimento; C) Composto após Maturação passando pelo peneiramento; e D) Fertilizante pronto para Comercialização.

Fonte: TERA Ambiental Ltda.

### 3.3 Registro do produto no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

O produto final denominado fertilizante orgânico composto Classe B, é a substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, que fornece mais de um nutriente para as plantas. Os fertilizantes auxiliam na agricultura, porém para isto, é importante que tanto o produto como a empresa estejam em conformidade e devidamente registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Para a obtenção do registro da empresa perante o MAPA, este poderá ser registrado como Estabelecimento Comercial, aquele no qual comercializa produtos no mercado interno, e o Estabelecimento Produtor, responsável pela transformação de produtos primários, industrializados ou semi-industrializados em fertilizantes. Todas as informações exigidas pelo MAPA para o estabelecimento de seu registro estão descritas e são realizadas no próprio portal com auxílio de manuais demonstrando o passo a passo a ser seguido para o efetivo registro do estabelecimento, este deve ser renovado a cada cinco anos. Existem algumas classes de fertilizantes, que são extremamente necessárias o conhecimento, para que o registro do mesmo seja feito corretamente, são elas:

- Fertilizante orgânico: Produto basicamente de natureza orgânica;
- Fertilizante mineral: Produto basicamente de natureza mineral;

- Fertilizante organomineral: Produto que resulta da mistura entre os fertilizantes minerais e orgânicos.

Levando-se em consideração a atividade desempenhada pela empresa TERA Ambiental, o seu fertilizante é classificado como orgânico, uma vez que na sua composição são utilizados somente resíduos biológicos livres de contaminantes químicos. Os seus padrões de análises químicas respeitam a legislação vigente sendo realizados por laboratórios credenciados, tornando-se hoje a empresa referência na reutilização de resíduos, transformação e comercialização de fertilizantes do estado de São Paulo.

## 3.4 Viabilidade econômica e ambiental segundo a empresa em estudo

Ao longo dos anos, o serviço se tornou viável nas duas frentes: compostagem e venda do fertilizante orgânico. Os investimentos são altos para manter o maquinário agrícola, a estrutura da planta e os colaboradores treinados. No intuito de sempre melhorar o processo, buscou-se investir em tecnologias melhores e com isso, após uma visita internacional, na Alemanha, uma melhoria na planta e nos maquinários foram adotados.

Quanto ao meio ambiente, a empresa em estudo, possui certificação de Qualidade Certificada pelo IBD (Associação de Certificação Instituto Biodinâmico). Isso garante que o produto não agrida o meio ambiente e é proveniente da reciclagem e transformação de resíduos que antes eram alocados em aterros e não tinham finalidade nenhuma. O orgânico produzido pela empresa TERA Ambiental, denominado Terafértil, possui certificação IBD, proveniente do processo de transformação de resíduos que antes eram dispostos em aterros e não reaproveitados. Ao final do processo apresenta valor mais acessível que o fertilizante químico, e consequentemente não agride o meio ambiente, tornando-se um produto que visa à sustentabilidade.

## 3.5 Prática I – Compostagem em pequena escala

Segundo o Manual Prático, a aeração se torna fundamental ao longo do processo, mas principalmente na fase inicial e após os 30 dias, onde a atividade microbiana é excessiva. Diante disso, foi adotado o revolvimento manual semanal, no intuito de preservar a circulação de ar na massa do composto, tornando o processo eficiente, influenciando na degradação e evitando odores, onde ao apresentar esse fator de caráter negativo significa que o processo está se tornando anaeróbio.

A temperatura é um fator importante no processo de compostagem, segundo o Manual Prático, pois a sua elevação é necessária para que ocorra a eliminação de microrganismos patogênicos, além de refletir a eficiência do processo. Com base nisso, a temperatura variou de 21,82 a 31,24 °C durante a prática I ao longo das 8 semanas (Figura 4).

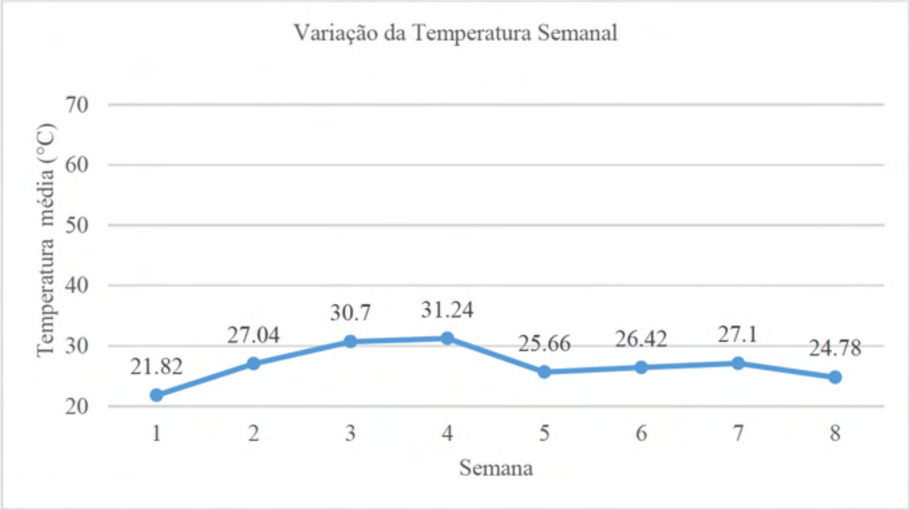



Figura 4. Evolução e variação da temperatura aferida na prática I em um período de oito semanas (ou 56 dias).

Fonte: Próprio autor.

Com base no manual, uma leira em compostagem deve registrar temperaturas diferentes em duas fases: termofílica e mesofílica, mas, vale ressaltar que muitas vezes, podem ocorrer processos de compostagem aeróbia em que o composto evolua somente atingindo uma das fases, sendo assim, não necessariamente o processo deve alcançar de fato as duas fases. De acordo com esse contexto, a Tabela 2, detalha a qualidade das temperaturas, ou seja, os respectivos valores mínimos, ótimos e máximos a serem atingidos.

| Bactérias | Temperatura mínima | Temperatura ótima | Temperatura máxima |
|---|---|---|---|
| Mesófilas | 15 a 25 °C | 25 a 40 °C | 43 °C |
| Termófilas | 25 a 45 °C | 50 a 55 °C | 85 °C |

Tabela 2. Tabela detalhada sobre as ações bacterianas no processo de compostagem e suas respectivas variações e qualidade de temperaturas.

Fonte: Institute for solid wastes of American Public Works Association, 1970.

Portanto, a temperatura média registrada na prática I (26,85°C) atende de forma geral como ótima, na fase em que ocorre atividade bacteriana mesofílica por estar no início do processo. Porém, é importante ressaltar que alguns fatores podem ter sido influenciados, como a falta de umidade, que de certa forma, segundo o Manual Prático, limita a efetividade microbiana e consequentemente a elevação da temperatura.

Outro parâmetro importante no processo de compostagem é a umidade. De acordo com Oliveira et al. (2008) e o Manual Prático, a umidade garante a evolução da atividade microbiológica do processo, pois a água é fundamental para a vida microbiana, visto que ela indicará o desenvolvimento satisfatório do processo. Os elevados teores de umidade fazem com que os espaços vazios do meio sejam ocupados pela água e consequentemente impedindo a circulação do oxigênio, ocasionando o surgimento de anaerobiose, que pode ser identificado pelo odor negativo. Já para índices de umidade abaixo do esperado, este interfere na evolução do processo no caráter velocidade da biodegradação da matéria orgânica. Os resultados obtidos deste parâmetro nos meses de Agosto/Setembro e Outubro/Novembro de 2019 foram de 45,21% e 48,17%, respectivamente.

De acordo com Kiehl (2002) e o Manual Prático, a prática em estudo apresentou valores considerados inferiores ao que se considera como ótimo, que seria entre 50% e 60%, que indica uma maior velocidade de degradação. Porém, os resultados apresentados, não são de caráter negativo, visto que estão dentro dos valores mínimos descritos nestes estudos, que são 40% e os máximos maiores que 65%. Ainda segundo os estudos citados anteriormente, os valores abaixo do caracterizado como ótimo, significa que é necessário a adição de água e aeração, para o aumento do teor da umidade, ou seja, aumento da velocidade de degradação do composto, seguindo o monitoramento indicado para não ultrapassar o valor máximo descrito. De acordo com Kiehl (2002), as leiras de tamanho reduzido podem apresentar perda de umidade, sendo assim, indica-se que de fato isto ocorreu na prática em estudo.

Em relação aos níveis de acidez do composto, a análise de pH se torna essencial no processo, pois os níveis de pH muito baixos ou muito altos reduzem ou até inibem a atividade microbiana. Segundo Von Sperling (2001), em um primeiro momento o pH do processo pode variar entre 5,0-6,0, indicando a produção de ácidos orgânicos, e já em uma segunda fase, pode variar entre 7,0-9,0, indicando a evolução do processo. Além disso, o autor ressalta que o composto orgânico deve apresentar no mínimo pH 6,0. Os resultados obtidos deste parâmetro nos meses de Agosto/Setembro e Outubro/Novembro de 2019 foram de 6,0 e 7,95, respectivamente. Portanto, constata-se que as análises variaram de forma positiva na prática em estudo. Na primeira análise, o parâmetro atingiu o valor mínimo, que conforme o Manual Prático e Von Sperling (2001) são normais no início do processo, pois, é uma fase em que se desenvolve microrganismos que apresentam fermentação ácida, consequentemente, tornando o pH baixo. Na evolução do processo, o pH aumenta, pelo fato dos ácidos serem consumidos pelos agentes biológicos, atingindo valores entre 7,0 e 8,0, indicando a humificação do composto.

A fim de analisar a carga de nutrientes do composto, foram realizadas análises de NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio), visto que a função destes são essenciais na melhoria da fertilidade do solo. Segundo o Manual Prático, a necessidade de determinar os

valores analíticos destes nutrientes, servem para que os agricultores e agrônomos definam um plano de adubação. Os resultados obtidos de nitrogênio (N) nos meses de Agosto/Setembro e Outubro/Novembro de 2019 foram de 2,1% e 1,82%, respectivamente. Já para o fósforo (P) e o potássio (K) de 2% e 2,24%, e 0,34% e 0,31%, respectivamente.

Segundo Silva et al. (2002), o nitrogênio do composto apresentou valores considerados bons, por estarem na faixa entre 1,8-3,5%, já o fósforo, apresentaram valores altos, de acordo com a classificação proposta na referência em questão e os índices de potássio foram considerados baixos de acordo com a classificação.

Outro parâmetro definido para análise, consiste na Relação Carbono/Nitrogênio, a fim de equilibrar os substratos, pois os microrganismos precisam de carbono como fonte de energia e o nitrogênio para síntese de proteína. Os resultados obtidos deste parâmetro nos meses de Agosto/Setembro e Outubro/Novembro de 2019 foram de 11% e 15%, respectivamente. Pôde-se verificar que a prática em estudo apresentou resultados inferiores ao esperado, que se encontra detalhado no Manual Prático, que estabelece como ótima, um substrato que apresente valores em torno de 30, porém, ressalta que podem variar de 20 a 70. A prática em estudo apresentou como valor máximo 15, indicando a provável perda de nitrogênio pela volatilização da amônia, ou seja, limitando a atividade microbiológica. Se a Relação Carbono/Nitrogênio apresentasse valores elevados, acima de 70, dificultaria os microrganismos a encontrarem nitrogênio para síntese de proteínas e consequentemente, limitando o desenvolvimento. De certa forma, os dois casos em baixos ou altos valores, interferem no andamento do processo, pois, o torna mais lento.

No decorrer do processo, o monitoramento da Matéria Orgânica foi essencial, por ser um indicador importante em relação ao nível de maturação do composto, pois, a partir desse parâmetro é possível observar a transformação da matéria orgânica em húmus, ou seja, o quanto de decomposição ocorreu e o quão próximo o composto está de transforma-se em húmus (KIEHL, 2002). Os resultados obtidos de matéria orgânica nos meses de Agosto/Setembro e Outubro/Novembro de 2019 foram de 74,9 % e 83,17%, respectivamente. Foi observado um aumento dos valores ao longo do tempo, ou seja, atendendo de forma positiva. Segundo a classificação proposta por Silva et al. (2002), que indica como ótimo (maior que 60%), bom (50-60%) e baixo (menor que 50%), a prática em estudo apresentou matéria orgânica de caráter ótimo.

Em relação ao Carbono Orgânico, esse parâmetro indica o andamento da decomposição e estabilização da matéria orgânica promovida pela ação dos microrganismos atuantes no processo de compostagem (OLIVEIRA et al., 2008). Verificou-se que o teor de carbono orgânico variou de 24,09% para 28,09% nos meses estudados, ou seja, houve um aumento no decorrer da degradação. Vale ressaltar, que segundo a literatura, se os valores apresentassem diminuição, não indicaria algo prejudicial, visto que outros parâmetros são mais essenciais que este.

## 3.6 Conformidade com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA

Os compostos orgânicos podem ser utilizados em qualquer tipo de cultura associado ou não a fertilizantes químicos. Segundo Souza e Kawatoko (2009), podem ainda ser utilizados para corrigir a acidez do solo, na recuperação de áreas degradadas e em projetos de reflorestamento de encostas. No Brasil, para os compostos orgânicos serem comercializados, devem atender a valores estabelecidos pelo MAPA, instituído pela Instrução Normativa número 25 de 23/07/2009, que podem ser observados na Tabela 3. Nesse intuito, o estudo buscou comparar os valores obtidos na prática com os impostos pela legislação, sendo que os resultados podem ser observados na Tabela 4.

| **Garantia** | **Misto/composto** | **Húmus de minhoca (vermicomposto)** |
|---|---|---|
| | | |
| Umidade (máx.) | 50 | 50 |
| N total (mín.) | 0,5 | 0,5 |
| *Carbono orgânico (mín.) | 15 | 10 |
| *CTC (1) | Conforme declarado | |
| pH (mín.) | 6,0 | 6,0 |
| Relação C/N (máx.) | 20 | 14 (IN 25/2009) |
| Relação CTC/C (1) | Conforme declarado | |
| Outros nutrientes | Conforme declarado | |

Tabela 3. Valores estabelecidos para comercialização de fertilizante orgânico.

Fonte: Adaptado de Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020 e Instrução Normativa SDA no 25, de 23 de julho de 2009.

| **Parâmetro** | **Valor MAPA** | **Resultado Prática I (%)** |
|---|---|---|
| Carbono Orgânico | Mínimo 15% | 28,9 |
| Nitrôgenio Total | Mínimo 0,5% | 1,82 |
| Umidade | Máximo 50/70% | 48,17 |
| Relação C/N | Máximo 20 | 15 |
| Índice de pH | Mínimo de 6,0/6,5 | 7,95 |

Tabela 4. Relação valores estabelecidos pelo MAPA e os resultados da Prática I.

Fonte: Próprio autor

De modo geral, a prática em estudo apresentou evolução significativa em relação à legislação vigente, pois os resultados apresentados nas Tabelas 3 e 4 estão de acordo com os padrões mínimos e máximos exigidos pelo MAPA e instituídos pela Instrução Normativa

número 25, indicado que o composto originado se enquadra como classe D, por apresentar matéria-prima de despejos sanitários. Contudo, vale ressaltar, que mesmo apresentando conformidade com estes padrões estabelecidos, análises de metais e patógenos devem ser realizadas, a fim de concretizar que os índices estão de acordo, sem respectivos riscos ao solo, plantações e até mesmo risco à saúde humana. Na Figura 5 – A, B, C, D, E, F, G e H é possível visualizar a evolução da leira em processo de compostagem. Neste contexto, foi possível observar a evolução da leira no decorrer das oito semanas do experimento, no qual evoluiu positivamente, sem a presença de cheiro e com cor escura, demonstrando que a estabilização do lodo estava ocorrendo.

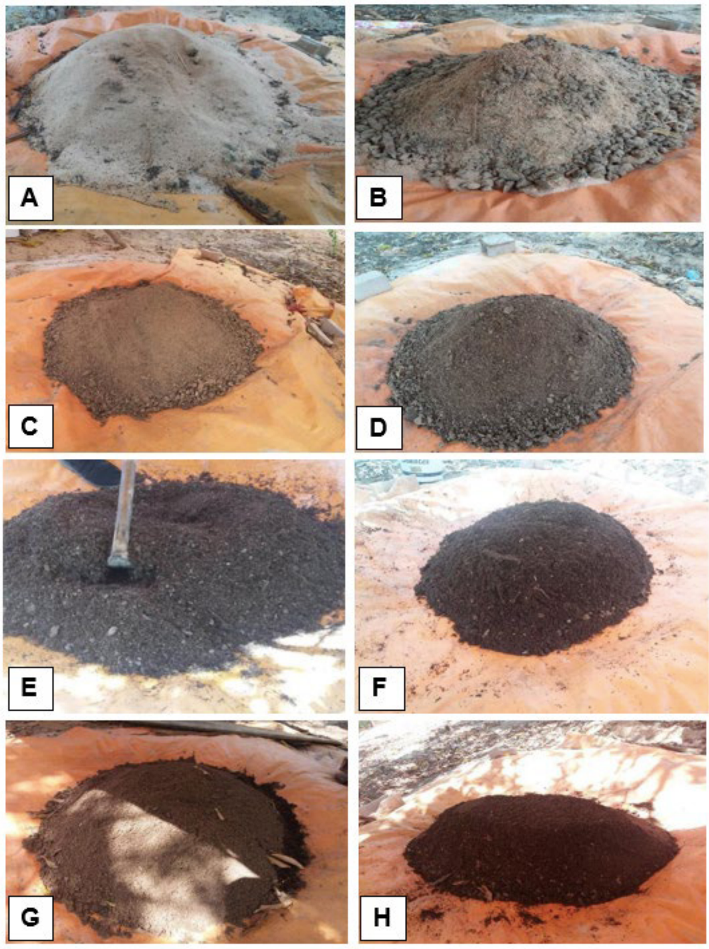



Figura 5. A e B) Fotos do antes e depois do revolvimento manual durante a semana 1. C e D) Fotos do antes e depois do revolvimento manual durante a semana 4. E e F) Fotos do antes e depois do revolvimento manual durante a semana 6. G e H) Fotos do antes e depois do revolvimento manual durante a semana 8

Fonte: Próprio autor

### 3.7 Prática II - Processo de Vermicompostagem

Na primeira semana da prática houve algumas mortes da espécie inserida, acredita-se que os resíduos utilizados estavam em estado muito pastoso não permitindo a movimentação das mesmas no ambiente, porém nas semanas seguintes com os revolvimentos efetuados, foi possível verificar o aumento no número de novas minhocas na composteira, sendo sua maioria indivíduos jovens. Os valores obtidos de pH após um período de aproximadamente 56 dias do início do estudo da metodologia da vermicompostagem (agosto/setembro e outubro/novembro de 2019) foram de 6,55 e 7,12, respectivamente. É importante ressaltar que a prática da vermicompostagem foi realizada como uma experiência para verificação da possibilidade de acelerar o processo da compostagem e estabilização do lodo, portanto, o foco deste estudo foi a análise da compostagem do lodo a fim de viabilizá-lo para uso agrícola.

Diante do exposto, a experiência do lodo com as minhocas e suas respectivas práticas laboratoriais foram efetuadas somente ao final de sua prática, uma vez que esta metodologia é comum a ser realizada em macroescala de compostagem, porém algumas verificações como as de temperatura e pH foram analisadas mais de uma vez. De acordo com os padrões estabelecidos pelo MAPA, as análises de pH corresponderam positivamente atendendo as exigências do órgão vigente, no qual determina o mínimo de um valor de pH 6,0. Com isso, foi possível observar a evolução do composto que atende os parâmetros da legislação.

Em relação à evolução das análises de temperatura, esta variou de 21,78 a 28,1 °C durante a prática II ao longo das 8 semanas (Figura 6).

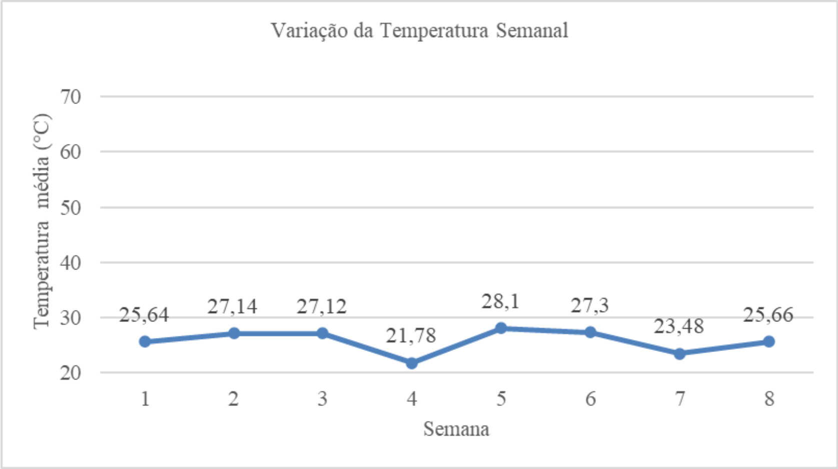



Figura 6 – Evolução e variação da temperatura aferida na prática II em um período de oito semanas (ou 56 dias).

Fonte: Próprio autor.

Diferentemente do processo de compostagem no processo de vermicompostagem é imprescindível que as perdas de calor sejam mantidas a níveis constantes. Para sobreviverem, as minhocas necessitam de condições mesofílicas. Sendo assim, altos e baixos valores de temperaturas inviabilizam a sua sobrevivência e prejudicam a vermicompostagem. Segundo o Instituto Agronômico de Pernambuco (2015), a temperatura ideal é de 16 a 22 ºC, para que esta não cause mortalidade das minhocas, mesmo que em curto período de tempo. Portanto, a faixa de temperatura considerada acima permite visualizar que o experimento apesar de algumas variações de temperatura correspondeu positivamente ao longo de sua prática, proporcionando a reprodução das minhocas em seus picos de temperaturas mais elevadas (de 27,14 a 28,1ºC). Temperaturas entre 30ºC e 35ºC, atrasam a migração das minhocas para horizontes superiores, e temperaturas superiores a 40ºC podem ser letais (LOURENÇO, 2014).

As Tabelas 5 e 6 a seguir, demonstram a comparação dos resultados analisados com o estudo em relação à Instrução Normativa número 61, de 8 de julho de 2020 bem como a Instrução Normativa número 25, de 23 de julho de 2009, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

| **Garantia** | **Misto/composto** | **Húmus de minhoca (vermicomposto)** |
|---|---|---|
| | | |
| Umidade (máx.) | 50 | 50 |
| N total (mín.) | 0,5 | 0,5 |
| *Carbono orgânico (mín.) | 15 | 10 |
| *CTC (1) | Conforme declarado | |
| pH (mín.) | 6,0 | 6,0 |
| Relação C/N (máx.) | 20 | 14 (IN 25/2009) |
| *Relação CTC/C (1) | Conforme declarado | |
| Outros nutrientes | Conforme declarado | |

Tabela 5. Tabela de especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos.

Fonte: Adaptado de Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020 e Instrução Normativa SDA no 25, de 23 de julho de 2009.

| Parâmetro | Resultado Prática II |
|---|---|
| Carbono Orgânico Total | 15,61 |
| Nitrogênio Total | 1,1 |
| Fósforo Total | 1,28 |
| Potássio Total (sol. em água) | 1,09 |
| Umidade | 57,89 |
| Matéria Orgânica Total | 44,31 |
| Relação C/N | 14 |

Tabela 6. Resultados das análises dos parâmetros de fertilizante de uso agrícola.

Fonte: Próprio autor.

Conforme as especificações apresentadas, a prática da vermicompostagem apresentou seus teores de nitrogênio, carbono orgânico, pH e relação carbono nitrogênio C/N, de acordo com o esperado e em conformidade técnica com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, porém o teor de umidade se apresentou acima do permitido pela normativa, no qual padroniza a umidade máxima a 50%, contudo o presente estudo chegou a um valor de umidade a 57,89%. Entretanto, teores de umidade na faixa de 40 a 70% são apontados na literatura como ideais para que o processo ocorra em condições ótimas (KIEHL, 2004). Entretanto, teores de umidade inferiores a 40% também devem ser evitados, uma vez que podem fazer com que a atividade biológica seja reduzida, retardando o desenvolvimento do processo (VALENTE et al., 2009). Quando a umidade estiver baixa, é necessário fazer a irrigação da leira, de preferência no momento do revolvimento para que a água seja distribuída por igual (MASSUKADO, 2008).

Portanto, esta experiência em relação aos parâmetros analisados e se corrigida os procedimentos que não se encontram de acordo com a normativa, pode se apresentar como uma alternativa viável para a prática de higienização e estabilização do lodo. Na Figura 7 – A, B e C, é possível visualizar a evolução do processo de vermicompostagem durante o período de estudo.




Figura 7. A) Processo de vermicompostagem após 1 semana; B) Processo de vermicompostagem após 5 semanas; C) Processo de vermicompostagem após 8 semanas.

Fonte: Próprio autor.

A partir das figuras apresentadas é possível observar a evolução do vermicomposto durante o período de estudo, no qual houve uma mudança em sua tonalidade, com uma redução de volume e humificação, onde o composto foi reduzindo seu tamanho granulométrico, característico de húmus produzidos por minhocas. Segundo Lourenço (2014), para ambos os processos de compostagem e vermicompostagem a granulometria interfere no desempenho do processo. Menores granulometrias aumentam a área superficial específica e a área de contato com as minhocas e com a comunidade microbiana, facilitando o "ataque", acelerando assim a decomposição do material. Todavia, partículas muito pequenas facilitam a compactação, criando condições de anaerobiose.

## 4 I CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, conclui- se que o tratamento do lodo através da Prática I gerou um composto orgânico passível de ser utilizado como fertilizante em meio agrícola, uma vez que este atendeu aos padrões exigidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. A Prática II com algumas correções como a de umidade e matéria orgânica, também poderá ser considerada apta ao uso no solo segundo os parâmetros analisados. Portanto, os compostos gerados neste estudo são considerados viáveis, pois a partir das práticas realizadas em curto período de tempo obteve-se um composto húmico de capacidade altamente nutritiva para fins agrícola, o que é condizente aos conceitos sustentáveis de reciclagem de resíduos que assim como o composto produzido pela TERA Ambiental Ltda, devolve seus nutrientes ao meio através de um ciclo ambiental funcional, proporcionando a este uma nova função que beneficiará outras atividades viáveis.

## REFERÊNCIAS


BITTENCOURT, S; SERRAT, M. B. AISSE, M. M.; MARIN. S. K. M. L.; SIMÃO. C. C. **Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado**. Curitiba, PR: Universidade Federal do Paraná (UFPR). Revista: Engenharia Sanitária Ambiental, v.17 n.3, jul/set 2012, p. 315-324. http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522012000300008

BRINGHENTI, R. J.; BOSCOV, G. M. E.; PIVELI P. R.; GÜNTHER, R. M. W. **Codisposição de lodos de tratamento de esgotos em aterros sanitários brasileiros: aspectos técnicos e critérios mínimos de aplicação**. Vitória, ES: Instituto Federal do Espírito Santo. Revista Engenharia Sanitária Ambiental, v.23, n.5, set/out 2018, p. 891-899. http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018124980

CHIBA, M. K. **Uso de lodo de esgoto na cana-de-açúcar como fonte de nitrogênio e fósforo: parâmetros de fertilidade do solo, nutrição da planta e rendimentos da cultura.** Piracicaba, SP, Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005. https://doi.org/10.11606/T.11.2006.tde-15032006-142618

CONAMA - **Conselho Nacional do Meio Ambiente.** Resolução n.° 430, de 13 de maio de 2011. Brasília: DOU N° 92, EM 16/05/2011.

Instituto Agronômico de Pernambuco, **Minhocultura**. Pernambuco, Disponível em:<http://www.ipa.br/resp46.php>. Acesso em: 27/11/2019.

INSTITUTE FOR SOLID WASTES OF AMERICAN PUBLICS WORKS ASSOCIATION. **Municipal refuse disposal public administration service**. 3 ed. Illinois, p.293-329, 1970.

LANDGRAF, M.D.; MESSIAS, R.A.; REZENDE, M.O.O. **A Importância ambiental da vermicompostagem: vantagem e aplicação**. São Carlos: Rima, 2005. 105p.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto**. 3°edição. Piracicaba. 2002.

KIEHL, E.J. **Manual da Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto.** 4ª edição. Piracicaba, 173p. 2004.

MAPA - **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Fertilizantes, Inoculantes e Corretivos. Publicado em 13 jan. 2017, última modificação 10 out. 2019.

MAPA - **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.** Instrução Normativo número SDA 25, de 23 de Julho de 2009. Publicado em: Diário Oficial da União – Seção 1 ISSN 1677-7042 Nº 173, quinta-feira, 28 de jun. de 2009.

MAPA - **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Instrução Normativo número Nº61, de 8 de julho de 2020.Publicado em: Diário Oficial da União –15/07/2020 l Edição: 134 l Seção: 1 l Página: 5.

MAPA - **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Instrução normativa Nº 7, de 12 de abril de 2016. Publicado em: Diário Oficial da União –02/05/2016 l Edição: 82 l Seção: 1 l Página: 9.

MASSUKADO, L. M. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares**. 2008. 204 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

METCALF & EDDY. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. 5ª edição, 2013;

OLIVEIRA, E. C. A. de; SARTORI, R. H.; GARCEZ, T. B. **Compostagem**. Piracicaba, 2008. 19p. Disciplina: Matéria Orgânica do Solo (LSO-897). Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

PROSAB - **Programa de Pesquisa em saneamento Básico:Manual prático para compostagem de biossólidos**. Londrina, PR: Universidade Estadual de Londrina. ABES, 1999. 91p. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Livro_Compostagem.pdf. Acesso em: 20/01/2021.

SILVA, F. C.; BERTON, R. S.; CHITOLINA, J. C.; BALLESTERO, S. D., 2002. **Recomendações Técnicas para o Uso Agrícola do Composto de Lixo Urbano no Estado de São Paulo.** Embrapa - Circular Técnica 3, pp. 1-17. https://doi.org/www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/8691

SOUZA, Q. M.D.; KAWATOKO, S. E. I. **Elaboração de propostas para o Tratamento do lodo gerado em uma Indústria de Reciclagem de Papel**. Presidente Prudente, São Paulo. (Trabalho de Graduação), Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2009. https://doi.org/ 10.4013/ete.2010.62.02

von SPERLING, M. **Lodo de esgotos.** Belo Horizonte: DESA-UFMG. 2001.

von SPERLING, M. **Tratamento e disposição final do lodo: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos 2005**. ed.: UFMG 2005.

TSUTIYA, M.T., COMPARINI, J.B., ALÉM SOBRINHO, P., HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T. **Biossólidos na agricultura**. 2ª Ed – São Paulo: ABES/SP, 2002.

VALENTE, B. S.; XAVIER, E.G.; MORSELLI, T. B. G. A.; JAHNKE, D. S.; BRUM, B. de S. Jr.; CABRERA, B. R.; MORAES, P de O. e LOPES, D. C. N. **Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos**. Archivos de Zootecnia. v.58. p.60-76, 2009.

# CAPÍTULO 10

# AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL COM FOCO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

**Augusto da Silva Santos**
Universidade São Francisco
Campinas – São Paulo
http://lattes.cnpq.br/2850641236471137

**Brurenan Rocha Silva**
Universidade São Francisco
Campinas – São Paulo
http://lattes.cnpq.br/0633422841585348

**Geraldo Peres Caixeta**
Universidade São Francisco
Campinas – São Paulo
http://lattes.cnpq.br/8010032658680160

**RESUMO:** A eletricidade é algo indispensável no cotidiano das pessoas. Pode-se afirmar que a energia elétrica é um dos elementos essenciais para manter a roda da economia girando. Dentre os diversos setores que estão amplamente relacionados com o consumo de energia elétrica, pode-se citar o residencial. De fato, a eletricidade no ambiente residencial torna a vida do ser humano mais confortável e possibilita que este tenha mais tempo para desempenhar outras atividades. Diante deste cenário, torna-se importante manter estudos que possam contribuir para o uso eficiente e racional da energia elétrica nas residências. Pensando nisso, o presente estudo tem por objetivo demonstrar como a automação pode contribuir para o uso mais eficiente de eletricidade em residências, abordando aspectos como o monitoramento e registro do consumo de eletricidade. Para isso pretende-se desenvolver um protótipo de sistema de automação, utilizando como principal dispositivo o microcontrolador ESP32, além de diversos componentes que a este podem ser integrados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eficiência energética residencial, automação, monitoramento, ESP32.

## HOME AUTOMATION WITH A FOCUS ON ENERGY EFFICIENCY

**ABSTRACT:** Electricity is indispensable in people's daily lives. It can be said that electricity is one of the essential elements to keep the wheel of the economy turning. Among the various sectors that are largely related to the consumption of electricity, one can cite the residential sector. In fact, electricity in the residential environment makes human life more comfortable and allows for more time to perform other activities. Given this scenario, it is important to maintain studies that can contribute to the efficient and rational use of electricity in homes. With that in mind, the present study aims to demonstrate how automation can contribute to a more efficient use of electricity in homes, addressing aspects such as monitoring and recording electricity consumption. For this, we intend to develop a prototype of an automation system, using the ESP32 microcontroller as the main device, in addition to several components that can be integrated into it.

**KEYWORDS:** Residential energy efficiency, automation, monitoring, ESP32.

## INTRODUÇÃO

A energia elétrica desempenha um importante papel na sociedade. Esta contribui de forma significativa com diversos setores tais como: comercial, residencial, industrial, agropecuário, dentre outros importantes setores da economia. Inegável é a importância da eletricidade para o desenvolvimento econômico e conforto de seus usuários. O homem já está tão acostumado com os benefícios da eletricidade que muitas vezes ela só é notada quando vem a faltar.

No ano de 2019, houve uma progressão de 1,3% no consumo final de eletricidade no Brasil, totalizando 545,6TWh, sendo os setores que mais colaboraram para esse aumento foram o residencial que acrescentou um consumo de 4,8TWh (+3,5%), o comercial progrediu 4,1TWh (+4,5%), energético, 1,3TWh (+4,1%) e o público 0,9TWh (+2,1%) (BRASIL, 2020).

Nota-se que o setor residencial consome uma parte significativa da energia elétrica disponibilizada no país. Como é mostrado na Figura 1, em 2019 este setor teve a participação de 26,1% no consumo de eletricidade, ficando atrás apenas do setor industrial, que consumiu 35,9% (BRASIL, 2020).

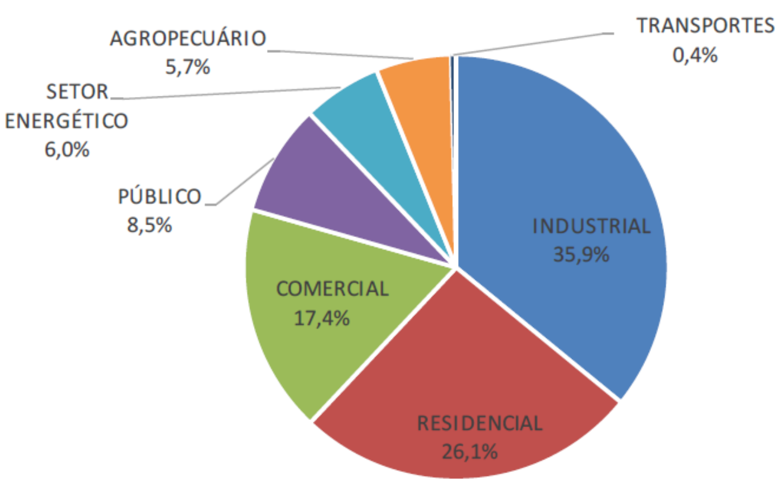



Figura 1 – Participação dos setores no consumo de eletricidade em 2019.

Fonte: BRASIL, 2020.

No ambiente residencial a eletricidade é responsável pelo funcionamento de diversos aparelhos que facilitam a vida do homem, trazendo mais conforto, diminuindo os esforços para realizar distintas atividades domésticas e, consequentemente, proporcionando mais tempo para outras atividades. Dentre esses aparelhos, cita-se como exemplo, alguns que apresentam também um alto consumo de eletricidade, merecendo tratamento diferenciado,

quando a preocupação está relacionada à eficiência energética, como: Máquina de lavar roupa, micro-ondas, ar-condicionado, geladeira, chuveiro elétrico, televisores, dentre outros aparelhos.

Diante deste cenário, que mostra o amplo consumo de eletricidade e a sua importância no cotidiano das pessoas, torna-se importante a busca pela eficiência energética, visando mitigar os custos e impactos ambientais sem prejudicar o conforto dos consumidores. Uma das formas de contribuição para o consumo mais eficiente e racional de eletricidade é a automação de processos.

A automação de processos, juntamente com o gerenciamento remoto de dispositivos, pode contribuir de forma significativa para uma gestão eficiente do uso de recursos energéticos e naturais, pois, através da supervisão de tais recursos, torna-se possível o gerenciamento de sua utilização (BOLZANI, 2010).

Mesmo tendo o conhecimento de que a automação auxilia de forma eficaz na eficiência energética, ainda não existem protocolos de comunicação e soluções difundidas no ambiente residencial como ocorre no meio industrial. Os fabricantes de equipamentos residenciais preferem investir em soluções que funcionam apenas em seus próprios equipamentos, forçando o usuário final a adquirir todo o sistema de uma só marca. Isso faz com que o valor final do projeto tenha um custo muito elevado, afastando o interesse do consumidor final em aplicar a automação em sua residência, dificultando a difusão dessa ideia.

Neste contexto, o presente estudo tem por objetivo abordar as principais contribuições da automação para a eficiência energética residencial, destacando aspectos como registro e monitoramento do consumo de energia elétrica em pontos estratégicos de uma residência, a partir dos ramais de um quadro de distribuição. Junto às pesquisas aqui levantadas pretende-se desenvolver um sistema de automação utilizando um microcontrolador.

As informações referentes ao consumo de eletricidade serão coletadas a partir de sensores integrados a um microcontrolador. Através destes dispositivos o microcontrolador será capaz de enviar dados sobre o consumo de energia elétrica para uma planilha online, onde tais informações serão apresentadas por meio de gráficos em um *dashboard*. De posse das informações do consumo de eletricidade, o usuário poderá tomar ações que contribuam para o uso mais eficiente da energia elétrica, como por exemplo, a substituição de aparelhos por outros mais eficientes, recondutoramento das instalações e até um planejamento dos gastos com energia elétrica.

Na estrutura deste artigo está inserido o referencial teórico, no qual serão abordados diversos tópicos. Primeiramente serão descritos os conceitos de eficiência energética, automação e automação residencial. Tais tópicos são essenciais para o desenvolvimento deste artigo, uma vez que se pretende utilizar da automação como um instrumento que

permita melhorar a eficiência energética no ambiente residencial. Ainda no referencial teórico serão abordados alguns elementos essenciais para desenvolver o sistema de automação, que são os conceitos de sensores e microcontroladores.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### Eficiência Energética

Para se ter controle do consumo de energia é necessário conhecer o resultado que se deseja obter e a partir disso estabelecer um indicador que possa relacionar o consumo com o resultado desejado. Uma vez que esta correlação é estabelecida, é possível buscar meios de tornar o processo mais eficiente, ou seja, utilizar o mínimo possível de energia de modo a obter o mesmo resultado (BARROS, BORELLI; GEDRA, 2015).

Em projetos de eficiência energética busca-se economia e benefícios ao usuário, baseando-se em ações que possam suprimir o desperdício de energia elétrica, melhorar as instalações e processos (CAPELLI, 2013).

### Automação Residencial

A automação residencial está associada ao termo domótica, que deriva no neologismo francês "domotique", cujo significado é "casa automática". Quando se trata da automação residencial, refere-se à uma unidade habitacional, sendo esta uma residência ou um apartamento, por exemplo. Em processos de instalação de controles automáticos voltados a residências, o que se pretende é identificar as diversas tecnologias que são capazes de automatizar variadas operações em uma habitação (PRUDENTE, 2017).

Muitas das aplicações da domótica têm por objetivo melhorar o conforto e segurança de residências e condomínios. Alguns destes objetivos podem ser: acendimento automáticos de luzes, porteiro eletrônico, portão automático, controle de acesso utilizando a biometria, monitoramento por vídeo, controle da temperatura ambiente, dentre outras coisas (CAMARGO, 2014).

Na Figura 2 observa-se o exemplo de uma residência conectada em rede com um cabeamento interno chamado em inglês BUS (Barramento). Os sensores (termostato, detector infravermelho, sensor de iluminação, etc) disponibilizam informações que podem ser manipuladas a qualquer instante (PRUDENTE, 2017).



Figura 2 – Residência conectada em rede com cabeamento interno *BUS* (Barramento).

Fonte: PRUDENTE, 2017, p. 2.

De fato, as aplicações da domótica contribuem de forma significativa nos mais diversos aspectos relacionados à habitação.

A seguir, serão discutidos os dispositivos e equipamentos previstos que serão utilizados no projeto.

## Sensores

Os sensores são dispositivos utilizados em diversas aplicações, como na indústria, em residências, comércios, dentre outras. As suas características os tornam grandes ferramentas para projetos de automação, uma vez que estes dispositivos são capazes de perceber e emitir informações sobre diversas grandezas que podem ser analisadas por outros dispositivos.

Sendo o sensor capaz de sentir algum tipo de energia, que pode ser luminosa, térmica ou cinética, este dispositivo é utilizado para associar informações a respeito de determinada grandeza que necessite ser medida (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2020).

No presente estudo, o uso de sensores será necessário em todas as etapas, sendo estes os sensores de corrente, luz e temperatura, conforme descrito a seguir.




Figura 3 – Sensor de corrente YHDC SCT013-100

Fonte: YHDC; 2021

Segundo o fabricante, o sensor possui a precisão de 1%, sensibilidade de 0,05V/A e fundo de escala de 100A. Pode-se observar a resposta da saída representada no gráfico, conforme a Figura 4.

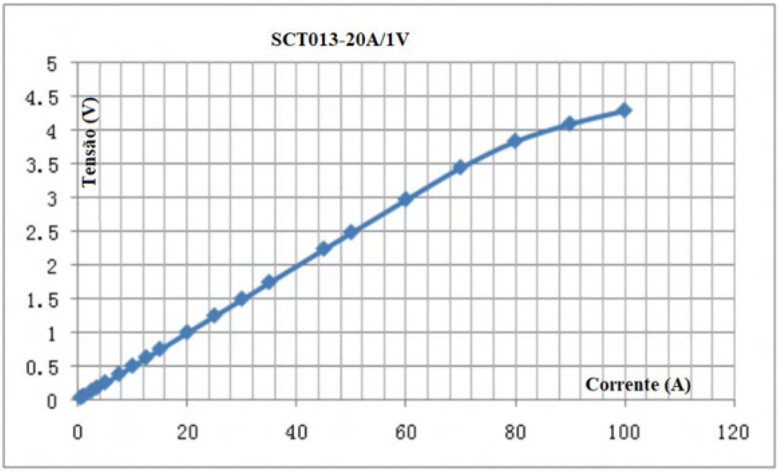



Figura 4 – Gráfico da saída do sensor YHDC SCT013-100

Fonte: YHDC; 2021

## Microcontroladores

Os microcontroladores são equipamentos programáveis e podem operar sobre a administração de ações e eventos. Os elementos que compõem um microcontrolador são basicamente um processador, memórias, entradas e saídas, controle temporal, conversores analógicos e digitais, tendo como característica executar ações que possibilitam o controle

de forma remota em sistemas embarcados (SANTOS; LARA JUNIOR, 2019).

Devido às suas características de fácil integração com meios externos, a partir das suas entradas e saídas, os microcontroladores aumentam a praticidade quando se trata de realizar funções complexas, como por exemplo em funções inerentes à automação. Sua conectividade o torna capaz de atuar com a *internet*, tornando possível o desenvolvimento de sistemas de controle e monitoramento juntamente com outros dispositivos, podendo servir como um host de uma página na web, que, através de linguagens como o HTML (*Hiper Text Markup Language*) torne possível ao usuário supervisionar e gerenciar equipamentos que estejam integrados a ele de maneira remota, somando-se a isso a possibilidade de se executar os ajustes e parametrizações de maneira fácil e eficaz (SANTOS; LARA JUNIOR, 2019). No presente estudo utilizou-se o microcontrolador ESP32, Figura 5. O ESP32 foi projetado para suportar temperaturas que variam de -40 ° C a +125 ° C, possui baixo consumo de energia, possibilita a integração com diversos dispositivos e possui conexão wi-fi e bluetooth (EXPRESSIF, 2021).

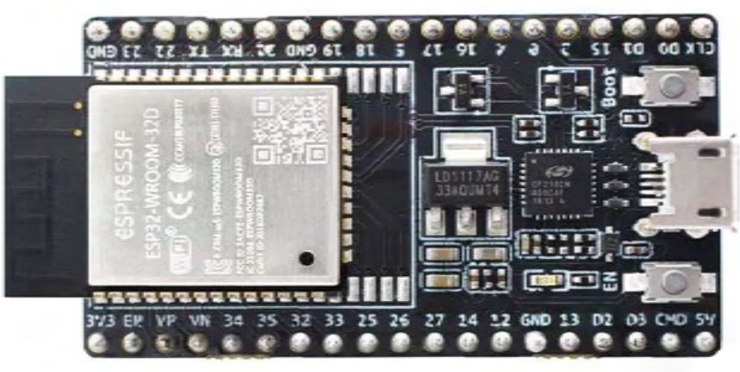



Figura 5 - Microcontrolador ESP32.

Fonte: MOUSER, 2021

## METODOLOGIA

### Considerações iniciais

Para realizar o desenvolvimento da metodologia, foi feito um diagrama de blocos, ilustrado na Figura 6, que estabelece a sequência de passos a serem desenvolvidos até chegar ao resultado final.




Figura 6 – Diagrama de blocos metodologia.

Fonte: Próprio autor.

## Medições

O microcontrolador escolhido para o projeto foi o ESP32. Para iniciar as medições de tensão e corrente torna-se necessário entender como funciona a entrada AD (Analógico/ Digital) do ESP32. A entrada analógica do ESP32 aceita sinais com o nível de tensão de 0 a 3,3V, seu conversor AD trabalha com a resolução de 12 bits = 4095 divisões, ou seja, os 3,3V são divididos em 4095 divisões e cada variação de 0,8mV equivale a uma divisão.

## Medição de tensão

Adotando-se um divisor de tensão para a leitura da tensão da rede é possível obter sinais aceitáveis para a entrada do AD do ESP32.

Como o ESP32 faz leituras apenas da tensão positiva é necessário a inserção de uma componente DC, elevando assim a linha média do sinal para o quadrante positivo. Para a regulagem da posição da onda foi inserido um potenciômetro de 50 kΩ no circuito. A Figura 7 ilustra o circuito utilizado para obter as medições.

## Medição de corrente

Para medição de corrente utilizou-se o sensor de corrente não invasivo da YHDC, o SCT013. Assim como na medição de tensão é necessário elevar o sinal para que suas componentes fiquem no quadrante positivo, e para isso também foi utilizado um potenciômetro de 50 kΩ, a Figura 8 ilustra o circuito com o sensor.

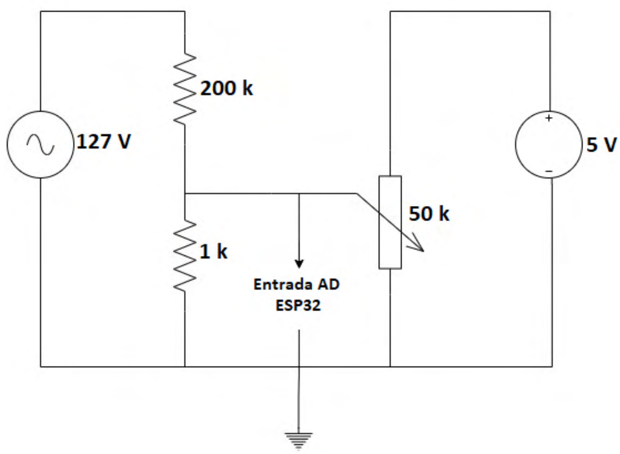



Figura 7 –Circuito construído para medição de tensão.

Fonte: próprio autor.

Na Figura 8 a fonte de 127V é usada como modelo da tensão de saída do ramal onde se pretende realizar a medição, a carga de 3,2kΩ é usada para modelar uma carga genérica à exemplo da impedância do ramal de alimentação onde serão realizadas as medições. O transformador simula o sensor de corrente, sendo que o primário representa o condutor da corrente a ser medida e o secundário o próprio sensor.

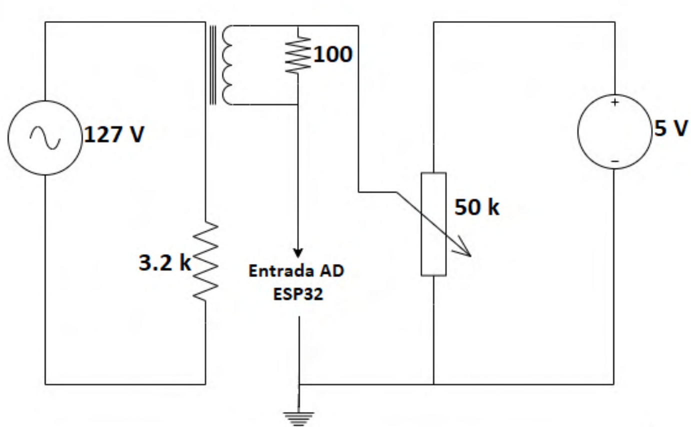



Figura 8 - Circuito construído para medição de corrente.

Fonte: próprio autor.

A Figura 9 ilustra o secundário do circuito do sensor em detalhes, sendo o componente R do circuito um resistor de 100 Ω, o que equivale uma variação de 0 à 1V de saída para uma corrente de 0 a 20A, medida pelo sensor. Como o monitoramento será realizado em um canal que suporta no máximo uma corrente de 40A, decidiu-se manter essa mesma relação, uma vez que quando a corrente atinge um valor de 40A tem-se uma tensão de 2V na saída, obtendo assim um bom aproveitamento da faixa de medição do ESP32, que é de 0 à 3,3V.

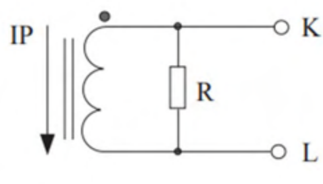



Figura 9 – Diagrama unifilar do sensor de corrente.

Fonte: YHDC; 2021.

Para os testes de funcionamento do protótipo os circuitos de tensão e correntes foram ligados ao ESP32 utilizando um protoboard, como pode-se observar na Figura 10.

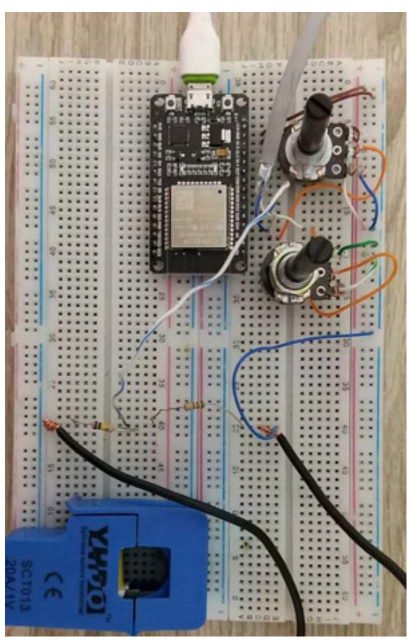


Figura 10 – Protótipo para monitoramento de tensão e corrente.

Fonte: Próprio autor.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise dos sinais obtidos

Para analisar os sinais dos circuitos de medição de tensão e de corrente, utilizou-se um osciloscópio da marca Tektronics. O primeiro procedimento para tornar o sinal legível ao ESP32 é regular a componente DC através dos potenciômetros, sendo esta ajustada em 1,5V como medida de aproveitamento da entrada AD do ESP, conforme observa-se na Figura 11.

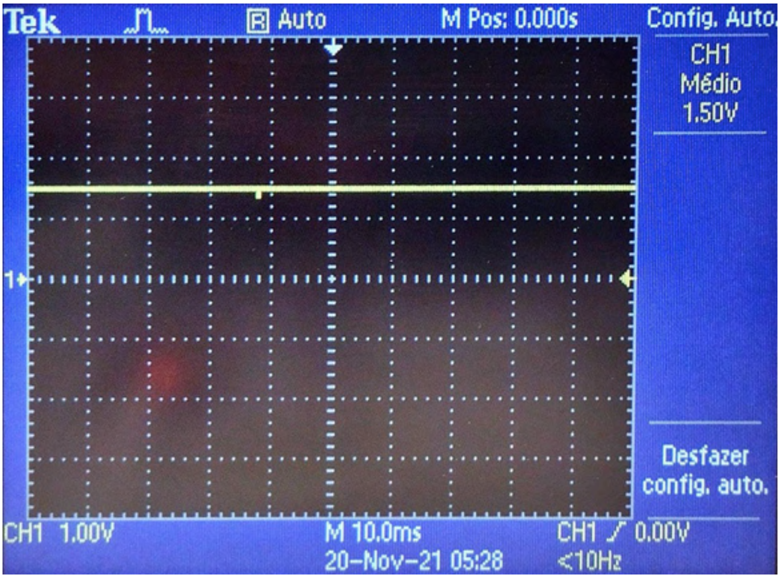



Figura 11 – Imagem da componente DC no osciloscópio.

Fonte: Próprio autor.

Ao inserir a componente AC nos circuitos (de tensão e corrente) tem-se como resultado um sinal senoidal puro, onde a única variação é a amplitude do sinal, conforme a Figura 12 obtida no osciloscópio.

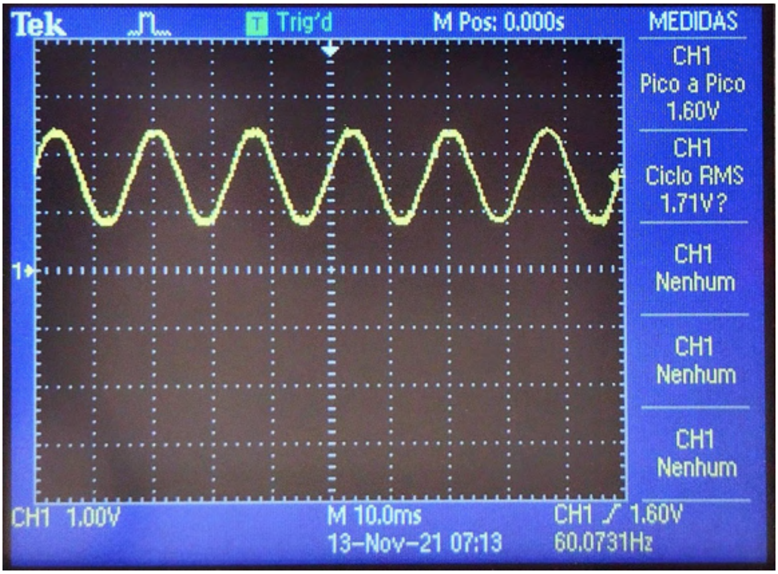



Figura 12 – Imagem da inserção da componente AC medida no osciloscópio.

Fonte: Próprio autor.

## Valor RMS de um sinal puramente senoidal

"O conceito de valor eficaz é o resultado de um desejo de fornecer a um resistor de carga a mesma potência média que uma tensão (ou corrente) contínua". (DORF; SVOBODA, 2016)

Considerando a expressão do valor eficaz (RMS) de um sinal senoidal puramente senoidal é expresso pela equação 1:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T v^2(t)\,dt} \tag{01}$$

Em que: Vrms = valor eficaz da tensão, em volts;

T = período do sinal, em s (segundos);

v(t) = valor da tensão instantânea, em volts;

Adaptando esta expressão aos sinais medidos em um determinado intervalo de tempo delta t (Δ t → dt), tem-se a equação 2, em que:

$$V_{rms,med} = \sqrt{\frac{1}{T}\sum_{i=0}^{T} v_i^2} \quad (2)$$

Substituindo T por n:

$$V_{rms,med} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n} v_i^2} \quad (3)$$

Em que: Vrms,med = valor eficaz da tensão calculada, em volts;

n = número de medições no período;

vi = tensão instantânea da tensão medida pelo sensor, em volts.

O valor eficaz da corrente pode ser definido de forma análoga.

Dada a expressão para o valor RMS foi programada a rotina no ESP32 para desenvolver o cálculo. A rotina do cálculo do valor RMS não considera a taxa de amostragem, mas é realizada em taxa adequada e por tempo suficientemente longo para esta aplicação, sendo notado que o ESP32 consegue executar 10 mil vezes por segundo, esse *loop*.

Para ajustar o ganho do sinal na programação do ESP32 foi utilizado um multímetro e um alicate amperímetro. A medição de tensão e corrente realizada pelo ESP32 em comparação com o multímetro e o alicate amperímetro está ilustrada na Figura 1

A Tabela 1 é usada para comparar algumas medições de tensão realizadas com o multímetro e o ESP32, enquanto a Tabela 2 é usada para comparar algumas medições realizadas com o alicate amperímetro e o ESP32. Para calcular o erro foi considerado o valor do multímetro e do alicate amperímetro como valores reais. O erro de medição foi calculado pela equação 4.

$$E\% = |Im - Ir| \,/\, Ir\ x100\% \quad (4)$$

Logo: Im: valor medido pelo ESP32

Ir: valor medido pelo multímetro.

| Tensão registrada pelo ESP32 | Tensão medida pelo multímetro | Erro% |
|---|---|---|
| 100.9V | 100V | 0,9% |
| 110.5V | 110V | 0,45% |
| 120.0V | 120V | 0% |
| 129.2V | 130V | 0,61% |

Tabela 1 – Comparação entre medidas de tensão ESP32/ Multimetro.

Fonte: Próprio autor.

Erro médio de leitura da tensão: 0,36%

| Corrente registrada pelo ESP32 | Corrente medida pelo alicate amperímetro | Erro% |
|---|---|---|
| 10.5A | 10A | 5% |
| 15.8A | 15A | 5,33% |
| 25,5A | 25A | 2% |
| 33,0A | 35A | 5,7 |

Tabela 2 – Comparação entre medidas de corrente ESP32/ Alicate amperimetro.

Fonte: Próprio autor.

Erro médio de leitura da corrente: 4,11%

## Planilhas Google

Para realizar o armazenamento dos dados coletados pelo ESP32, utilizou-se o aplicativo Google Planilhas (*Google Sheets*). O envio de dados do ESP32 para o Google Planilhas foi realizado através de um endereço da internet (URL), sendo que esse tipo de inserção de valores é possível graças a uma programação realizada em Java nas configurações da planilha na aba Extensões → *Apps Script*.

Devido a necessidade de executar esse endereço em um navegador se faz necessário a utilização da biblioteca do ESP32 "*HTTPClient*", que permite facilmente montar um endereço URL, adicionar as variáveis e enviá-lo para a rede.

A possibilidade de conexão com o ESP32, permitiu que os dados fossem atualizados e armazenados de forma online. Esta aplicação também possibilitou que os dados contidos no Google Planilhas fossem tratados e enviados para o aplicativo *Google Data Studio*, tornando assim possível resumir os dados através de quadros e gráficos para facilitar o entendimento das informações para o usuário.

## Dados Coletados

Para se obter as medições, o protótipo foi conectado na saída do disjuntor geral do quadro de distribuição de uma residência, escolheu-se um período de 24 horas com início às 00h00 do dia 05/12/021 para o que o microcontrolador enviasse estas informações à Planilha *Google*, conforme é observado na Figura 13. Foram enviadas informações de data, horário, tensão e corrente para que, posteriormente, fossem realizados os cálculos para se obter as métricas desejadas.

| | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Data | Horário | Tensão | Corrente |
| 2 | 05/12/2021 | 00:00:49 | 126.64 | 1.21 |
| 3 | 05/12/2021 | 00:01:38 | 127.08 | 1.19 |
| 4 | 05/12/2021 | 00:02:09 | 127.18 | 1.20 |
| 5 | 05/12/2021 | 00:02:38 | 126.55 | 1.25 |
| 6 | 05/12/2021 | 00:03:09 | 127.00 | 1.21 |
| 7 | 05/12/2021 | 00:03:30 | 127.11 | 1.18 |
| 8 | 05/12/2021 | 00:03:59 | 126.59 | 1.20 |
| 9 | 05/12/2021 | 00:04:18 | 126.83 | 1.17 |
| 10 | 05/12/2021 | 00:04:52 | 126.50 | 1.13 |
| 11 | 05/12/2021 | 00:05:14 | 126.88 | 1.18 |

Figura 13 - Informações coletadas pelo ESP32.

Fonte: Próprio autor.

## Dashboard

A partir das funcionalidades da Planilha *Google* e sua conectividade com o Google Data Studio, foi possível montar um *dashboard* com as principais informações sobre o ramal em que o protótipo foi conectado. Para se ter acesso à essas informações, que são atualizadas de forma online, basta que o usuário tenha o link do respectivo *dashboard*. Na Figura 14, observa-se o resumo das informações coletadas pelo protótipo desenvolvido por este estudo. Ao analisar os gráficos de tensão e corrente, nota-se que, durante os momentos em que a corrente se eleva, foram detectados afundamentos de tensão, indicando possíveis problemas na instalação elétrica, como um subdimensionamento por exemplo.

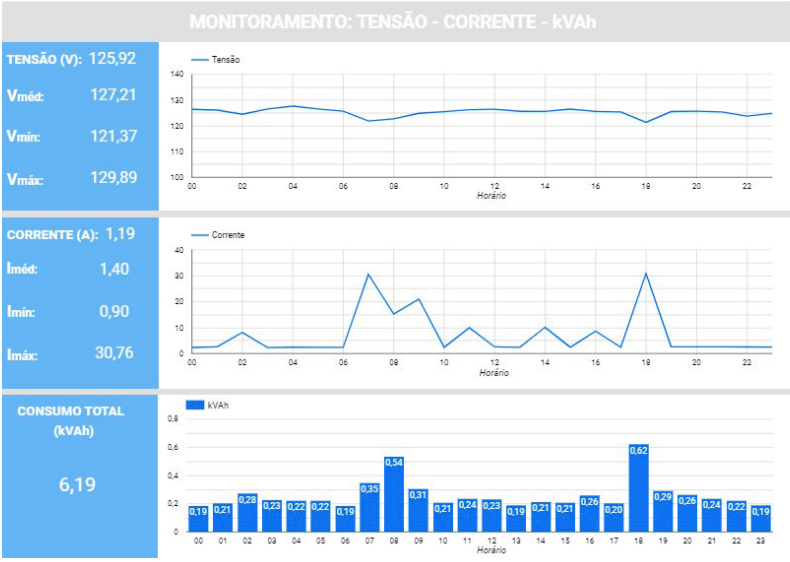



Figura 14 - *Dashboard* com informações coletadas pelo ESP32.

Fonte: Próprio autor

## CONCLUSÃO

O objetivo principal do desenvolvimento deste estudo é fornecer ao usuário uma ferramenta de medições em instalações elétricas. Tais informações podem indicar ao usuário possíveis pontos de melhorias na instalação, possibilitando melhorias nas instalações, troca de equipamentos por mais eficientes, de modo que este possa tomar ações assertivas no uso eficiente da energia elétrica.

***Dificuldades Encontradas :*** grande parte da dificuldade deste trabalho deve-se à pesquisa de como armazenar os dados adquiridos pelo ESP32 de forma prática e que ao mesmo tempo permitisse uma visualização clara ao usuário. O grande diferencial deste trabalho é a forma prática em que foram tratados e exibidos os dados com as ferramentas gratuitas *Google Sheets* e *Google Data Studio*.

***Possibilidades de Melhorias:*** Os gráficos gerados foram resultados de apenas 24 horas de análises, como melhoria pode-se gerar um banco de informações mais robusto, ampliando as gravações por longos períodos.

Pesquisar por ferramentas mais avançadas para a criação de gráficos, de modo que seja possível obter gráficos com informações mais detalhadas.

Incluir no circuito de medição de tensão um transformador isolador para proteção do ESP32.

Criar uma placa impressa com o circuito realizado no protoboard e facilitar as configurações de conexão wi-fi do ESP32 através da conexão *bluetooth*. Incluir nas

medições o fator de potência.

A transferência de dados através do endereço URL varia conforme a qualidade do servidor de serviços Google, fazendo com que o intervalo de envios de dados não mantivessem um mesmo intervalo. Fica como sugestão de melhoria criar uma alimentação da planilha através de um banco de dados.

## REFERÊNCIAS


BARROS, B.F.D.; BORELLI, R.; GEDRA, R.L. **Eficiência Energética**: técnicas de aproveitamento, gestão de recursos e fundamentos. São Paulo: Érica, 2015. 152 p. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518404/, acesso em 16/5/ 2021.

BOLZANI, C. A. M. **Análise de Arquiteturas e Desenvolvimento de uma Plataforma para Residências Inteligentes**. 2010. 78 f. Tese em Doutorado - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Cap. 1, disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3142/tde-12082010-112005/publico/Tese_Caio_Augustus_Mor, acesso em 14/6/ 2021.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2020**: relatório final / ano base 2019. Rio de Janeiro: Epe, 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf, acesso em 2/5/2021.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2020**: relatório síntese / ano base 2019. Rio de Janeiro: Epe, 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao, acesso em: 2/5/2021.

DORF,. R.; A., SVOBODA,. J. **Introdução aos Circuitos Elétricos, 9ª edição**. São Paulo: Grupo GEN, 2016. 9788521631309, disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521631309/, acesso em: 6/12/2021.

CAMARGO, V. L. A. D. **Elementos de Automação**. São Paulo: Érica, 2014. 151 p, disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518411/, acesso em 18/5/2021.

CAPELLI, A. **Energia Elétrica:** qualidade e eficiência para aplicações industriais. São Paulo: Érica, 2013. 272 p, disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518534/, acesso em 16/5/2021.

ESPRESSIF. **ESP32**. 2021, disponível em: https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32, acesso em 1/6/2021.

GOOGLE. **Google Data Studio Overview**, diisponível em: https://datastudio.google.com/, acesso em 6/12/2021.

GOOGLE. **Crie Planilhas Avançadas**, disponível em: https://www.google.com/intl/pt-BR/sheets/about/, acesso em 6/12/2021.

MOUSER. **Espressif Systems ESP32-C3-DevKitM-1**, disponível em: https://br.mouser.com/images/espressifsystems/lrg/ESP32-DevKitC-32D_t.jpg, acesso em 15/6/2021.

PESSÔA, M. S. D. P.; SPINOLA, M. D. M. **Introdução à Automação para Cursos de Engenharia e Gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. 333 p. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595153257/, acesso em 18/5/2021.

PRUDENTE, F. **Automação Predial e Residencial:** uma introdução. Rio de Janeiro: Ltc, 2017. 211 p, disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2024-2/, acesso em 18/5/2021.

SANTOS, J. W.; LARA JUNIOR, R. C. D. **SISTEMA DE AUTOMATIZAÇÃO RESIDENCIAL DE BAIXO CUSTO CONTROLADO PELO MICROCONTROLADOR ESP32 E MONITORADO VIA SMARTPHONE.** 2019. 23 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso Superior de Tecnologia em Automação Industria, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12133/1/PG_COAUT_2019_1_02.pdf, acesso em 25/5/2021.

THOMAZINI, D.; ABUQUERQUE, P. U. B. D. **Sensores Industriais**: fundamentos e aplicações. 9. ed. São Paulo: Érica, 2020. 248 p. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=lang_pt&id=1qgPEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP15&dq=sensores&ots=RJ4y2FkNVC&sig=RISz83MAoLIHu-0i1ida2krVLww#v=onepage&q&f=false, acesso em 21/6/2021.

YHDC. **Split Core Current Transformer**, 2021. Disponível em: http://en.yhdc.com/product/SCT013-401.html. Acesso em: 05 jul. 2021

# CAPÍTULO 11

# ANÁLISE DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA EM LINHAS DE TRANSMISSÃO E EFEITOS DE BLINDAGEM

**Rafaela Steffany da Silva Kayo**
Universidade São Francisco
Campinas – São Paulo
http://lattes.cnpq.br/2756326031615836

**William Aparecido de Oliveira**
Universidade São Francisco
Campinas – São Paulo
http://lattes.cnpq.br/6210835962567844

**Geraldo Peres Caixeta**
Universidade São Francisco
Campinas – São Paulo
http://lattes.cnpq.br/8010032658680160

**RESUMO:** O trabalho apresenta um estudo dos aspectos qualitativos relacionados ao fenômeno da interferência eletromagnética, com a realização de ensaios práticos em laboratório através de linhas de transmissão. Duas linhas de transmissão idênticas, sendo uma dita como fonte de interferência eletromagnética alimentada com tensão alternada de um gerador de ondas arbitrárias com frequência definida, e outra servindo como uma vítima da tensão induzida provocada pela linha fonte, são posicionadas de modo a observar a atenuação da amplitude da tensão induzida. Conforme esta atenuação é verificada devido ao distanciamento e o posicionamento das linhas, atribui-se à diminuição do acoplamento indutivo e capacitivo provocados pela corrente e tensão do gerador, o fator determinante na incidência desse sinal indesejável. O estudo se completa com os efeitos causados pela blindagem através do papel alumínio, onde é observado a sua eficiência em atenuar esses sinais acoplados nas linhas de transmissão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Interferência eletromagnética, compatibilidade eletromagnética, linhas de transmissão, acoplamento eletromagnético, blindagem eletromagnética.

## ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE IN TRANSMISSION LINES AND SHIELD EFFECTS

**ABSTRACT:** The paper presents a study of the qualitative aspects related to the phenomenon of electromagnetic interference, with the accomplishment of practical tests in the laboratory through transmission lines. Two identical transmission lines, one being said to be a source of electromagnetic interference fed with alternating voltage from an arbitrary wave generator with a defined frequency, and the other serving as a victim of the induced voltage caused by the source line, are positioned so as to observe the attenuation. of the amplitude of the induced voltage. As this attenuation is verified due to the distance and positioning of the lines, it is attributed to the decrease in inductive and capacitive coupling caused by the current and voltage of the generator, the determining factor in the incidence of this undesirable signal. The study is completed with the effects caused by the shielding through aluminum foil, where its efficiency in attenuating these signals coupled in

the transmission lines is observed.

**KEYWORDS:** Electromagnetic interference, electromagnetic compatibility, transmission lines, electromagnetic coupling, electromagnetic shielding.

## 1 I INTRODUÇÃO

As questões relacionadas às interferências eletromagnéticas (EMI) já são antigas, tendo chamado a atenção de pesquisadores na medida em que a velocidade da evolução tecnológica ganhou proporções inimagináveis até a pouco tempo, notadamente com o crescimento das faixas de frequências estabelecidas em sistemas de comunicações, e o desenvolvimento de uma gama de componentes eletrônicos digitais, cuja velocidade de processamento é cada vez maior. Dada à complexidade de conceitos envolvidos no processo, geralmente esse assunto faz parte apenas de programas de pós-graduação, instigando em estudantes do curso de engenharia elétrica a busca de conhecimentos mais aprofundados antes mesmo de finalizar a graduação PAUL (2006b).

A interferência eletromagnética é uma parte de um contexto mais amplo, vinculada à área de compatibilidade eletromagnética. Todo equipamento eletroeletrônico está sujeito, em maior ou menor grau, a interferências de natureza eletromagnética, prejudicando seu desempenho para a atividade fim para a qual foi projetado, além de prejuízos de ordem financeira. Todo fabricante de equipamento que atua na área se preocupa com o assunto, muitas vezes investindo em ensaios compulsórios, que são controlados por órgãos governamentais (PAUL, 2006b). Por isso, é de suma importância que engenheiros tenham um conhecimento fundamentado na teoria eletromagnética, capacitando-os no desenvolvimento de dispositivos cada vez mais imunes a esse tipo de interferência. Um dos princípios básicos relacionados ao tema é muito bem conhecido na literatura e foi expressa na terceira equação de Maxwell – Lei de Faraday – e complementada pela Lei de Ampére, a quarta equação[1] (PAUL, 2006a).

Conforme mencionado em PAUL (2006a) as ondas eletromagnéticas são ricas em conteúdo espectral, ou seja, possuem altos níveis de frequências, podendo assim causar interferências ou ruídos em vários equipamentos eletroeletrônicos e assim provocar um funcionamento indesejável ou fora dos padrões desses equipamentos. Por isso a preocupação é crescente, uma vez que dispositivos fundamentados em eletrônica digital estão sendo cada vez mais utilizados, sendo que sua velocidade de processamento e frequência de trabalho é cada vez maior (hoje na faixa de dezenas GHz). Segundo PAUL (2006b) um pulso digital enviado em trilhas de placas de circuito impresso gera campos elétricos e magnéticos que poderão induzir sinais de amplitude e frequência suficientes para interferir em sinais de outras trilhas. Esse acoplamento entre os pares de trilhas pode acarretar em erros lógicos em computadores e equipamentos digitais e causar prejuízos

1 As quatro equações foram publicadas no ano de 1861.

inestimáveis.

Transmissões de rádio e TV, sinais de telecomunicações e radares apresentam também uma problemática de interferências eletromagnéticas em dispositivos. Embora algumas dessas transmissões não sejam digitais, podem se acoplar em dispositivos digitais, gerando assim sinais induzidos no disposto em questão, prejudicando o seu funcionamento. Amplamente essas questões são abordadas dentro do campo da compatibilidade eletromagnética (EMC) e basicamente, quando se fala em um sistema ser compatível com o seu meio, ele deve atender critérios como não causar interferência em outros sistemas, não estar suscetível a receber interferência de outros sistemas e não causar interferência a si mesmo PAUL (2006b). Essas interferências eletromagnéticas são perturbações presentes nos circuitos, causadas por fontes externas, que podem ser classificadas em naturais ou artificiais, de origem de fenômenos da natureza ou por ação do homem, através de outros equipamentos (PRESTES, 2010).

## 1.1 Indução eletromagnética: Acoplamento Magnético e as Equações de Maxwell

De acordo com DREWNIAK (2015) o princípio fundamental da lei de Faraday, que diz que um campo magnético variável no tempo que atravessa uma superfície delimitada por um caminho circuital, induz tensão elétrica no mesmo, tem aplicação nos efeitos de acoplamento parasitário entre *hardwares* eletrônicos. PAUL (2006a) afirma que quando um sinal (corrente ou tensão) de um par de condutores se acopla com um par de condutores adjacentes há um efeito chamado *crosstalk,* que causa uma repetição indesejada daquele sinal nos condutores adjacentes.

Como exemplo, DREWNIAK (2015) ilustra na figura 1, um circuito emissor com uma fonte $V_{es}$, através da corrente circulante no circuito $I_e$, produz um campo magnético variável no tempo, que se acopla com o circuito de área $A_v$ de fonte $V_{vs}$ induzindo um sinal de tensão (fem) no circuito “vítima”, que por sua vez dá origem a uma corrente parasita através desse circuito. Uma tensão de ruído é observada sobre a carga do segundo circuito.

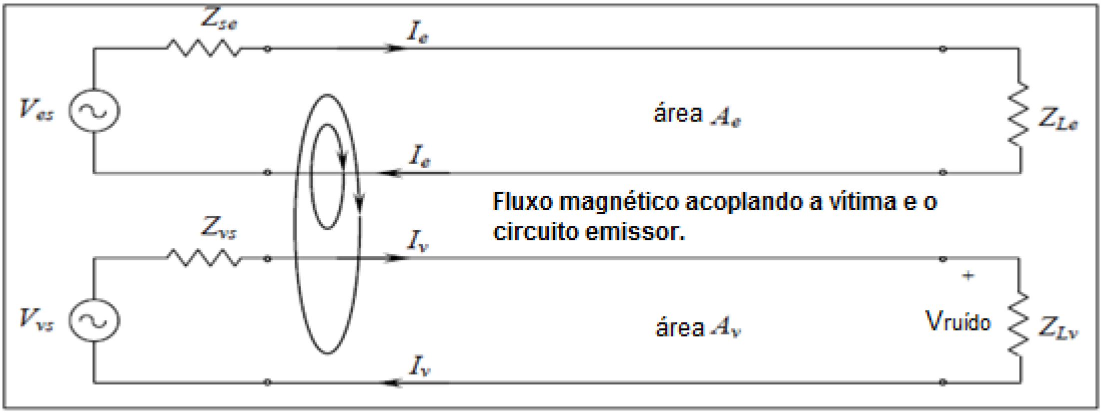



Figura 1 – Representação esquemática do acoplamento de ruído através de uma variação temporal do campo magnético e a tensão de ruído induzida na carga no circuito da vítima.

Fonte: Adaptado de DREWNIAK (2015, p.2)

PAUL (1990) descreve que correntes e tensões associados com sinais transmitidos em um par de fios paralelos, gera campos elétricos e magnéticos nas proximidades desses fios. Esses campos eletromagnéticos interagem com quaisquer fios condutores e induzem tensões e correntes em linhas de transmissão, e conforme destacado pelo autor, parte desses sinais são percebidos na carga no final da linha como sinais indesejáveis, que podem causar degradação no desempenho dos circuitos.

Como já mencionado, esse fenômeno conhecido como *crosstalk* (PAUL, 1990), possui dois mecanismos associados: a corrente ($I_1$) do gerador produz um campo magnético que é acoplado à linha receptora por meio da indutância mútua ($L_m$) - fenômeno conhecido como acoplamento indutivo; similarmente, a tensão ($V_1$) do gerador produz um campo elétrico que é acoplado à linha receptora por meio da capacitância mútua ($C_m$) - fenômeno conhecido como acoplamento capacitivo. A tensão induzida ($V_2$) é diretamente proporcional a ambas as impedâncias mútuas, que variam conforme a distância das linhas, sendo que as impedâncias diminuem com o aumento da distância (L) entre elas, como mostrado na figura 2. Frequências mais altas também elevam o valor da tensão induzida, conforme previsto pela lei de Faraday (tensão induzida diretamente proporcional à frequência do sinal).

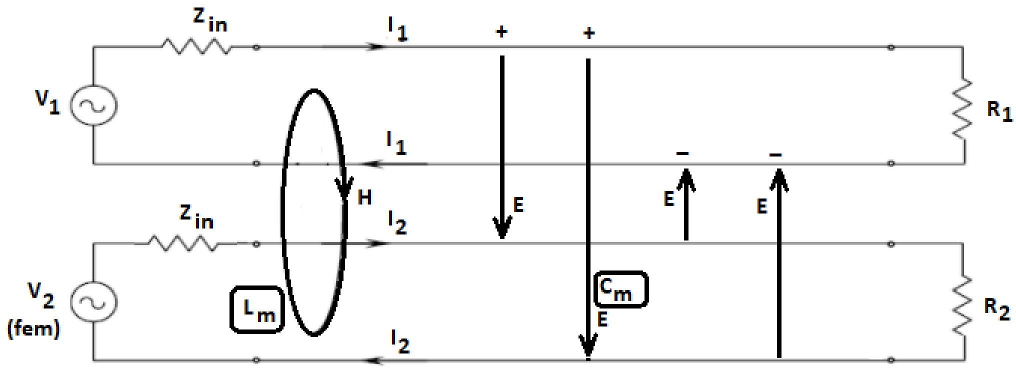



Figura 2 – Acoplamento magnético (indutância mútua Lm) e acoplamento elétrico (capacitância mútua)

Fonte: adaptado de DREWNIAK (2015) e PAUL (2006a).

De acordo com PAUL (2006a) as ondas eletromagnéticas têm a sua fundamentação na combinação das leis de Faraday e de Ampère, cujas equações são mostradas na tabela 1.

| Lei | Forma integral | Forma pontual |
|---|---|---|
| Faraday | $\oint_c \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d}{dt}\int_s \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}$ | $\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$ |
| Ampère | $\oint_c \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \int_s \mathbf{J} \cdot d\mathbf{s} + \frac{d}{dt}\int_s \mathbf{D} \cdot d\mathbf{s}$ | $\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$ |
| Gauss (campo elétrico) | $\oint_s \mathbf{D} \cdot d\mathbf{s} = \int_v \rho_v dv$ | $\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_v$ |
| Gauss (campo magnético) | $\oint_s \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = 0$ | $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$ |

Tabela 1 - As 4 Equações de Maxwell na forma integral (ou espacial) e na forma pontual.

Fonte: PAUL (2006a, p.163).

Como mencionado por SADIKU (2012), Michael Faraday estabeleceu experimentalmente que um campo magnético estático não produz fluxo de corrente, mas um campo magnético variável no tempo produz uma tensão induzida em um circuito fechado, causando um fluxo de corrente. O autor assim descreve:

"Faraday descobriu que a **fem induzida**, $V_{fem}$ (em volt), em qualquer circuito fechado, é igual à taxa de variação no tempo do fluxo magnético enlaçado pelo circuito." (SADIKU, 2012)

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt}\int_S \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (1)$$

$$Vfem = \oint_c \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt}\int_S \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (2)$$

Sendo que:

$$\varphi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (3)$$

Em que $\vec{E}$ é o vetor de intensidade de campo elétrico, $\vec{B}$ é o vetor densidade de fluxo magnético. Sendo $V_{fem}$ a tensão induzida pela variação temporal do fluxo magnético $\varphi$, essa lei pode ser matematicamente traduzida pela equação 4:

$$Vfem = -\frac{d\varphi}{dt} \quad (4)$$

Uma corrente ou um fluxo de cargas elétricas que atravessam uma superfície aberta produz uma circulação de campo magnético ao redor do caminho que cerca a superfície FLEISCH (2008), como mostrado na equação 5.

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{S} + \frac{\partial}{\partial t}\int_S \vec{D} \cdot d\vec{S} \quad (5)$$

Em que $\vec{H}$ é o vetor intensidade de fluxo magnético, $\vec{J}$ é o vetor densidade de corrente elétrica e $\vec{D}$ é o vetor densidade de fluxo elétrico. Segundo PAUL (2006a), o termo à esquerda da equação refere-se à força magnetomotriz, e os dois termos à direita são correntes de condução e de deslocamento, respectivamente. Ou seja, a equação 5 pode ser reescrita como:

$$\oint_C \vec{H} \bullet d\vec{l} = Icond. + Idesl. \quad (6)$$

PAUL (2006a) descreve que para um elemento de corrente de comprimento infinito, o vetor densidade de fluxo magnético é calculado pela equação 7.

$$\vec{B} = \frac{\mu oI}{2\pi R}\hat{a}\emptyset \quad (7)$$

Em que $\mu o$ = 4π x10$^{-7}$ é a permeabilidade no vácuo e R o raio da circunferência formada pelo campo magnético em torno do condutor. O vetor intensidade de fluxo magnético no vácuo é dado pela equação 8.

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu o} \tag{8}$$

### 1.2 Blindagens a interferências eletromagnéticas

Segundo GEETHA (2008) uma onda eletromagnética quando atravessa uma blindagem, sofre absorção e reflexão, restando ainda uma energia residual que não é nem absorvida e nem refletida pela blindagem, mas emergida dela. PAUL (2006b) aborda que o termo blindagem geralmente se refere a um gabinete metálico que envolve o circuito, ou parte dele, com o propósito de evitar as emissões de componentes eletrônicos irradiam para fora dos limites do circuito, ou seja, evitar que o circuito provoque interferência em outros equipamentos ou circuitos, e evitar que emissões irradiadas externas ao circuito blindado sofram possíveis acoplamentos de outros componentes externos.

PAUL (2006b) ainda menciona que a eficácia de uma blindagem é a razão entre a magnitude de um campo eletromagnético incidente e a magnitude do campo eletromagnético transmitido pela barreira. A eficácia de blindagem da barreira é definida em decibéis, considerando o fator de blindagem com o sinal trocado, mostrada na equação 9.

$$S(dB) = -168 + 10log\frac{f\ \mu r}{\sigma r} - 0{,}1314.e(mm)\sqrt{f\ \mu r\ \sigma r} \tag{9}$$

Em que S é o fator de blindagem, f é a frequência do sinal, $\mu r$ e σr são a permeabilidade e condutividade relativa do material, respectivamente. GEETHA (2008) descreve que os metais podem absorver, refletir e transmitir EMI, por isso equipamentos são protegidos contra radiação eletromagnética de altas frequências por escudos de metal, sendo a liga de mu-metal o material mais comum na construção de invólucros para blindagem devida a sua elevada permeabilidade magnética a baixas intensidades de campos magnéticos. PAUL (2006b) menciona que materiais ferrimagnéticos, como as ferrites, tem uso crescente em dispositivos eletrônicos para prevenção de EMI, por sua alta resistividade e perdas que aumentam à medida que a frequência do campo magnético aplicado aumenta.

## 2 I MATERIAIS E MÉTODO

A proposta deste trabalho foi realizar um levantamento bibliográfico sobre o tema, considerando os principais meios de consulta disponibilizados pela Universidade, como a própria biblioteca física, a biblioteca digital, artigos científicos disponíveis na plataforma Scielo e outros meios de acesso livre. Em princípio, foi dada ênfase aos princípios básicos

e teóricos relacionados ao tema de interferências eletromagnéticas e, na medida de sua evolução, buscar o aprofundamento no assunto, com novas referências bibliográficas.

Concomitante a isso, foi desenvolvido um protótipo para realização de ensaios sobre interferência eletromagnética, visando comprovar na prática a teoria estudada. A proposta é a construção de linhas de transmissão bifilar com fios de cobre esmaltado em suporte de madeira, onde será considerada uma linha fixa com fonte e outras configurações de linhas como receptoras (vítimas); com a utilização de um gerador de ondas arbitrárias para emitir sinais de determinada faixa de frequências na linha tida como fonte, e com um osciloscópio poder obter a medida do sinal induzido nas linhas receptoras, relacionando-o como sendo uma interferência indesejável. A configuração final dessas linhas de transmissão será definida futuramente, de forma a buscar a melhor maneira de obter resultados que possam ser analisados. A partir dessas configurações e medidas iniciais, pretende-se explorar os conceitos envolvidos e análises de blindagens no sistema de acoplamento. A motivação deste trabalho é abordar uma área de aplicação do eletromagnetismo em suas teorias físicas e matemáticas e comprovar o fenômeno em laboratório, dando uma visão menos abstrata de fenômenos ligados a esse campo da física e da engenharia, contribuindo também para despertar o interesse por aulas mais práticas e melhor entendimento por parte dos estudantes, sabendo-se que a supracitada disciplina provoca certo desconforto nos estudantes de engenharia elétrica pelos seus conceitos abstratos e complexidade matemática.

## 3 I METODOLOGIA

Nesta seção será apresentada a metodologia adotada, descrevendo os ensaios a serem realizados, recursos necessários, procedimentos para execução, preparação de amostras e roteiros de ensaio. Os ensaios para medição e análise dos parâmetros da EMI são realizados considerando uma modelagem pela teoria de linhas de transmissão, onde duas linhas são prototipadas e dispostas em algumas configurações, sendo a primeira denominada por linha fonte, onde o sinal será aplicado e a segunda denominada por linha "vítima", que atuará com o papel de receptora, onde são registrados os efeitos causados condicionados a interferência de forma irradiada, através dos níveis de frequência e tensão. São três configurações primárias de ensaio: distanciamento, posicionamento e colocação de blindagem. Dentro dessas configurações, existirão ainda as configurações secundárias: variação de distâncias, variação de posicionamento e teste com blindagem. Os materiais para confecção das linhas e equipamentos para os ensaios são apresentados nas tabelas 2 e 3 a seguir:

| Componente | Especificação | Unidade de Medida | Quantidade |
|---|---|---|---|
| Fio de cobre esmaltado | AWG18 – Ø1mm | Metros | 2 |
| Resistores | 100Ω | Peça | 2 |
| Base de madeira | Madeira MDF 60cmx10cm | Peça | 2 |
| Blindagem | Papel alumínio 110cmx25cm | Peça | 1 |

Tabela 2 - Materiais utilizados para montagem das linhas de transmissão

Fonte: Próprio autor.

| Equipamento | Marca | Modelo | Capacidade |
|---|---|---|---|
| Osciloscópio digital | Tektronix | TBS 1052B | 50MHz 1GS/s |
| Gerador de Ondas Arbitrárias | Agilent | 33220A | 20MHz |

Tabela 3 - Equipamentos utilizados nos ensaios

Fonte: Próprio autor.

A seguir é apresentado o processo de montagem do protótipo e o roteiro de ensaios. Após o levantamento dos materiais e equipamentos, a construção do protótipo é baseada no esquema elétrico apresentado na figura 3.

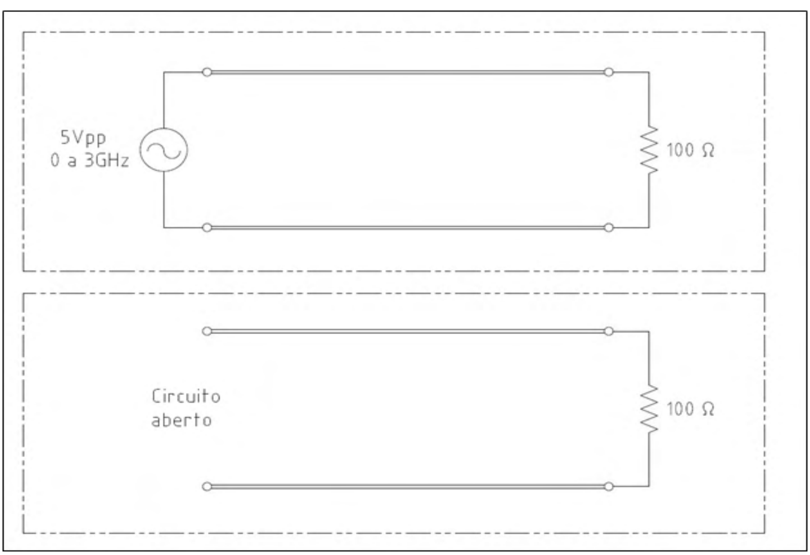



Figura 3 – Esquema elétrico da linha de transmissão fonte (acima) e da linha de transmissão “vítima” (abaixo)

Fonte: Próprio autor..

Conforme o esquema, a linha de transmissão que servirá como fonte de interferência eletromagnética é montada a partir de um par de fios de cobre esmaltados, de comprimento de 50cm, postos paralelamente a uma distância de aproximadamente 3cm um do outro sobre o suporte de madeira. No suporte 1 com dimensões de 60cm x 10cm, o par de fios é posicionado de maneira que fique alocado em uma das extremidades do suporte, deixando um espaço na lateral maior do lado oposto ao posicionamento da linha de transmissão. Os fios já posicionados são presos com fita isolante, de maneira a ficarem com a mesma distância ao longo de toda sua extensão.

Após o posicionamento e fixação dos fios no suporte, um resistor de 100Ω será soldado com estanho na extremidade direita da linha, que servirá como carga resistiva da linha de transmissão. Na extremidade esquerda da linha será conectado o gerador de ondas arbitrárias que fornecerá a alimentação de aproximadamente 5 V pico a pico ao circuito com faixas de frequências ajustáveis conforme o ensaio a ser empregado.

A linha de transmissão que servirá como “vítima” de interferência eletromagnética, seguirá os mesmos passos de montagem, agora no suporte 2, a única diferença é que a extremidade esquerda ficará em aberto para que sejam conectados os instrumentos de medição, como o osciloscópio e o analisador de espectro, para aferição dos sinais parasitas que estão sendo transmitidos sobre a carga resistiva provenientes do circuito tido como fonte de interferência. O esquema de montagem geral é apresentado na figura 4.

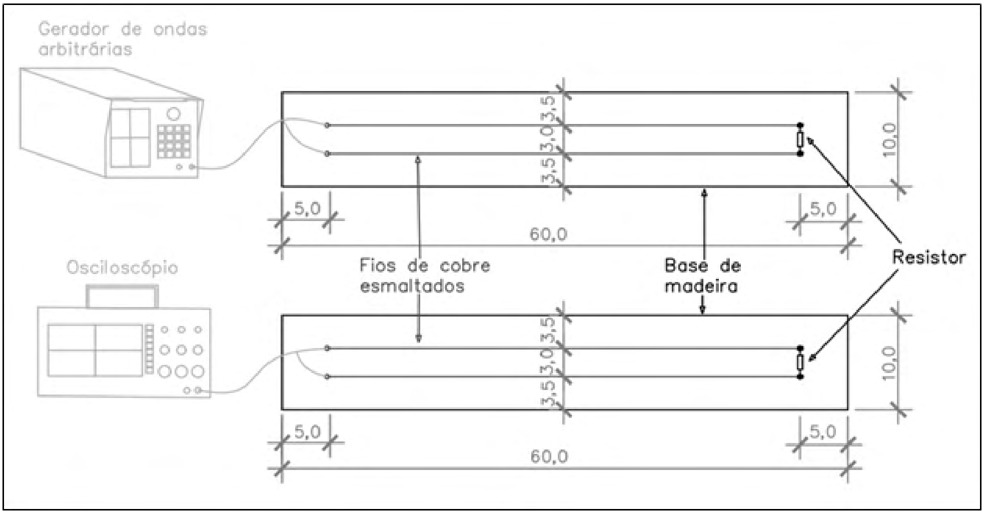



Figura 4 – Ilustração do esquema de montagem do protótipo, com medidas em centímetros.

Fonte: Próprio autor.

## 3.1 Roteiros de Ensaios

Neste tópico são apresentados no detalhe, os ensaios de distanciamento, posicionamento e blindagem. Para isso, são tomadas as seguintes ações:

- **Preparação do equipamento de alimentação:** Ligar o gerador de onda arbitrária e configurar uma alimentação de 20MHz - Tensão senoidal 5Vpp. Essa preparação será utilizada em todos os ensaios.

- **Medições:** realizar medições utilizando o osciloscópio no ponto destacado nas figuras, seguindo as orientações de distanciamento e anotar os resultados.

Primeiramente, o ensaio de distanciamento é realizado com o intuito de observar os níveis de EMI no circuito vítima a diferentes distâncias do circuito fonte. Para isso, as linhas são separadas em diferentes distâncias uma da outra como na figura 5.

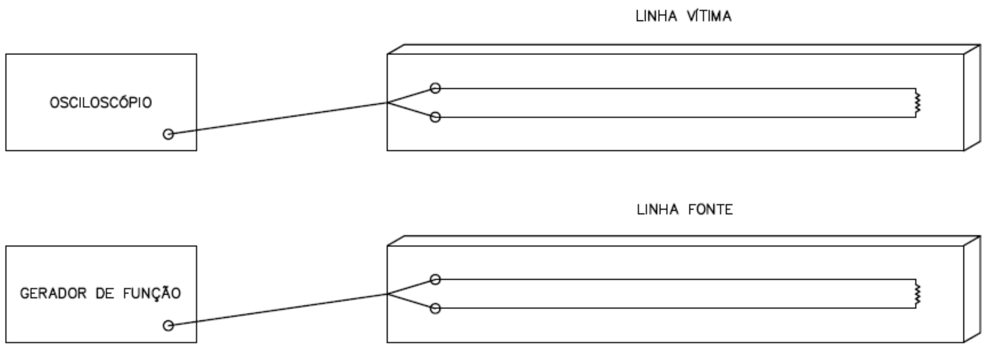



Figura 5 – Ilustração do esquema de posição das bases distanciadas entre si.

Fonte:Próprio autor.

O ensaio de posicionamento é realizado com o intuito de observar os níveis de EMI no circuito vítima a diferentes posições em relação ao circuito fonte. Para isso, as linhas são posicionadas da seguinte maneira, respectivamente: primeiro perpendicularmente a 90 graus, depois verticalmente sobrepostos distanciados a 20cm e, por último, de forma cruzadas sobrepostas sem distanciamento, conforme ilustrado nas figuras 6, 7 e 8.

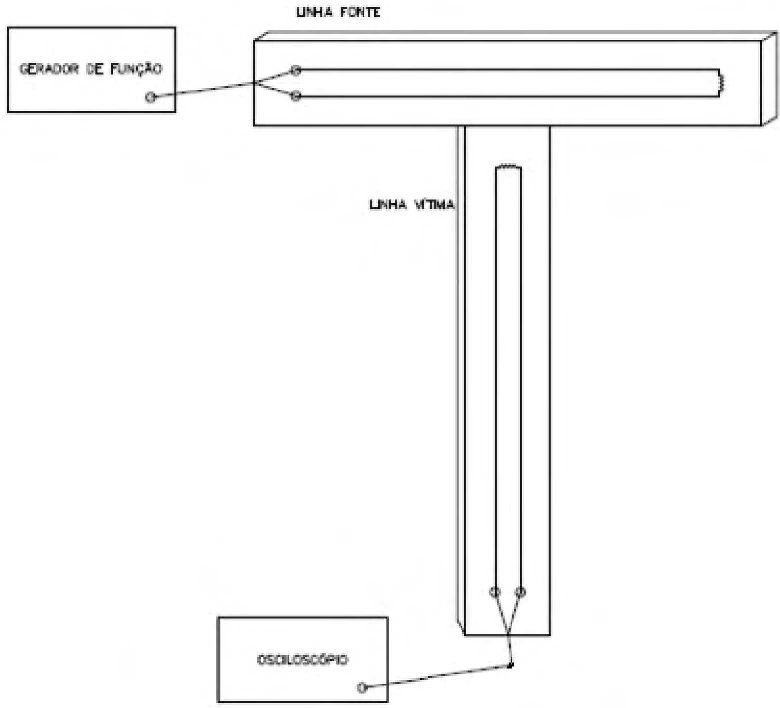



Figura 6 – Ilustração do esquema de posição das bases a 90 graus.

Fonte: Próprio autor.

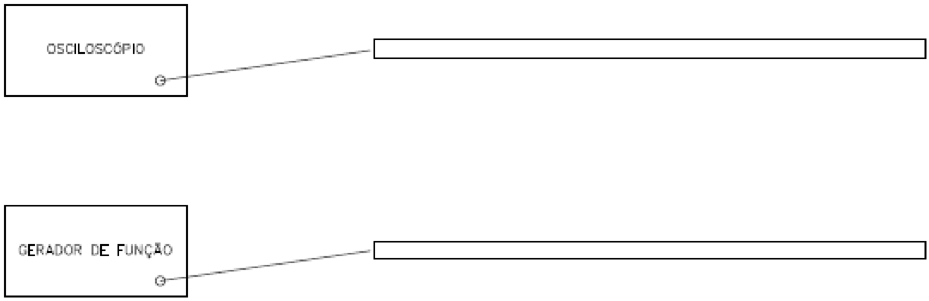



Figura 7 – Ilustração do esquema de posição das bases posicionadas verticalmente sobrepostas com 20cm de distância.

Fonte: Próprio autor.

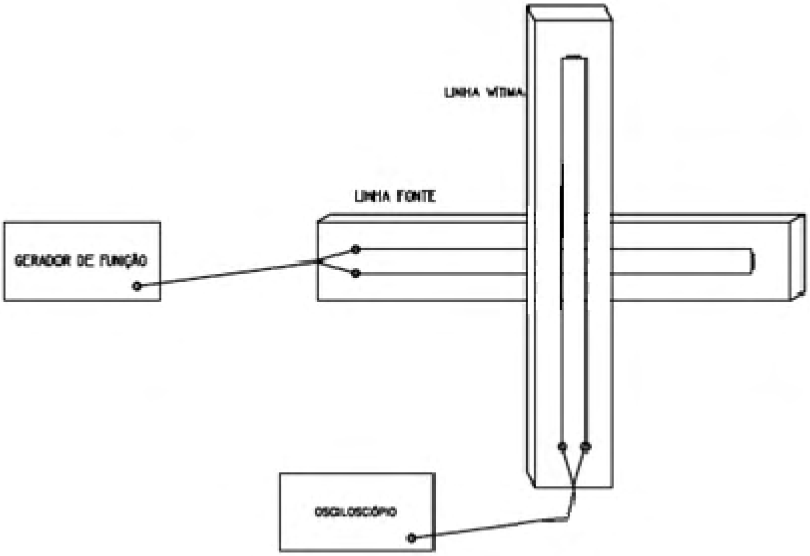



Figura 8 – Ilustração do esquema de posição de forma cruzada

Fonte: Próprio autor.

### 3.2 Ensaios de Blindagem com Alumínio

Esse ensaio é realizado visando observar a eficiência do alumínio em atenuar o sinal acoplado na linha de transmissão. A ideia é utilizar uma folha de papel alumínio e envolver as linhas de transmissão e verificar a eficiência dessa blindagem para cada situação. A folha de papel alumínio será recortada nas dimensões aproximadas de 130cm x 25cm, que envolverá, em um primeiro instante, a linha de transmissão receptora de sinais de EMI, recobrindo-a como um envoltório. Depois será recoberto também a linha fonte de interferências.

Após cobrir a linha com o papel alumínio, foram efetuados os seguintes passos:

- Posicionou-se as linhas fonte e receptora em paralelo a uma distância onde já foi efetuado algum teste de interferência anterior, e se tem o valor da amplitude do sinal conhecido.
- Aplicou-se a mesma frequência do sinal do teste anterior;
- Verificou-se a amplitude do sinal medido e a frequência na linha receptora, agora com ela blindada;
- Realizou-se comparações dos resultados obtidos.

## 4 I RESULTADOS

Inicialmente, os dois pares de linhas foram montados sobre as bases conforme instrução do roteiro, considerando linha fonte e linha vítima com o sinal devidamente aplicado, posicionadas com uma distância de 10cm entre si. Porém, nenhum resultado pôde ser observado na leitura do osciloscópio.

Diante disso, algumas investigações foram realizadas, partindo do princípio da relação do comprimento de onda com a frequência do sinal, baseado na expressão $\lambda = \frac{Vo}{f}$, em que $\lambda$ é o comprimento de onda, considerando *Vo= 3x10⁸ m/s* velocidade de propagação no ar e *f* = 20 MHz - frequência do sinal; obteve-se que $\lambda$ = 15m. Para PAUL (2006a) uma dimensão física menor do que 1/10 do comprimento de onda é dita eletricamente pequena de modo que o deslocamento de fase do sinal, à medida que a onda se propague é desprezível. Por isso, os fenômenos eletromagnéticos são ignorados e o circuito é analisado usando parâmetros concentrados. Como no primeiro instante, tendo as linhas 50cm de comprimento, ou seja, um terço menor do que foi estabelecido pelo autor, e não foi possível tratar esses fenômenos, o tamanho da linha foi alterado para 110cm mantendo a mesma frequência de 20MHz, aproximando assim o comprimento das linhas a 1/10 ao comprimento de onda para possibilitar as medições dos ensaios.

Esse novo circuito das linhas de transmissão será identificado como circuito 1; na tabela 4 é apresentado o resultado dos ensaios de distanciamento, como ilustrado na figura 5.

| d(cm) | Tensão do Gerador (Vpp) | Tensão Induzida (Vpp) | Frequência (MHz) |
|---|---|---|---|
| 10 | 5,00 | 3,36 | 20,00 |
| 50 | 5,00 | 2,84 | 20,00 |
| 100 | 5,00 | 1,52 | 20,00 |

Tabela 4 - Registro dos parâmetros medidos para o distanciamento do circuito 1.

Fonte: Próprio autor.

A tabela 5 mostra os resultados obtidos dos ensaios de posicionamento das linhas de transmissão, como ilustrados nas figuras 6, 7 e 8 respectivamente.

| Posição das linhas | Tensão do Gerador (Vpp) | Tensão Induzida (Vpp) |
|---|---|---|
| Perpendicular a 90 graus | 5,00 | 0,90 |
| Verticais sobrepostas | 5,00 | 2,18 |
| Cruzadas sobrepostas | 5,00 | 1,44 |

Tabela 5 - Registro dos parâmetros medidos para posicionamento do circuito 1.

Fonte: Próprio autor.

Na tabela 6 apresenta- se os resultados referentes a comparações de medidas das linhas distanciadas entre si, sem blindagem e com a blindagem com papel alumínio.

| Distância/blindagem | Frequência do sinal recebido sem blindagem (MHz) | Tensão Induzida sem blindagem (Vpp) | Tensão Induzida com blindagem (Vpp) |
|---|---|---|---|
| 5,50m entre as linhas | 20,00 | 0,52 | 0,00 |
| 1,00m entre as linhas | 20,00 | 1,20 | 0,00 |
| 1,00 m/somente a fonte blindada | 20,00 | 1,20 | 0,00 |
| 1,00 m/ambas as linhas blindadas | 20,00 | 1,20 | 0,00 |

Tabela 6 - Registro dos parâmetros medidos do ensaio de blindagem com papel alumínio do circuito 1.

Fonte: Próprio autor.

Ao longo da execução dos testes, surgiu a necessidade de avaliar os níveis da interferência com uma diferente fonte de ruído. Após uma avaliação minuciosa dos recursos disponíveis em laboratório, um novo teste foi realizado com o mesmo circuito, porém utilizando um gerador eletrostático de correia, conhecido como gerador de Van der Graaff. Os resultados são apresentados na tabela 7

| Distância entre a linha e o gerador Van der Graaff (cm) | Frequência captada | Tensão induzida (Vpp) |
|---|---|---|
| 10 | ~ 23,0 KHz | 0,2 |
| 50 | ~ 4,5KHz | 0,2 |

Tabela 7 – Registro do ensaio usando o Gerador de Van der Graaff como fonte de interferência eletromagnética.

Fonte: Próprio autor.

A fim de enriquecer o estudo, um novo ensaio foi executado baseado no artigo escrito por PAUL (1990) intitulado "*Crosstalk in Cable*", sendo desenvolvido um ensaio de distanciamento e blindagem. Esse novo arranjo será identificado como circuito 2, que como pode ser visto na figura 9, possui fios de cobre com aproximadamente 1,5m de comprimento e resistência de carga de 10Ω. A linha em que será medido o sinal induzido é fechada nas duas extremidades com resistores de 10Ω, diferentemente da linha montada para os ensaios anteriores, que era aberta na extremidade oposta a carga.

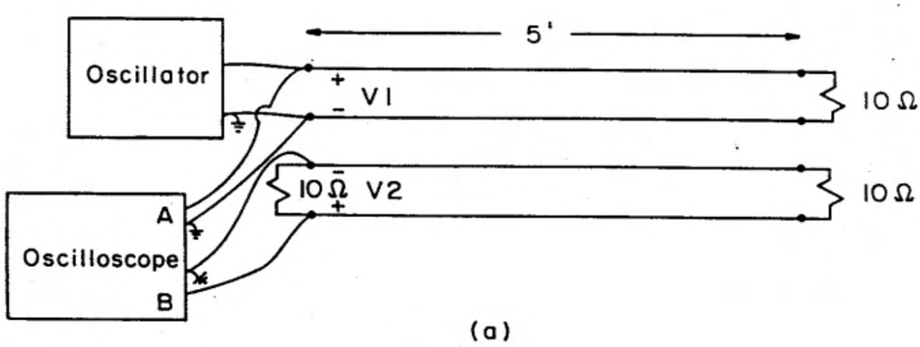



Figura 9 – Circuito 2.

Fonte: PAUL (1990).

Em relação ao sinal aplicado, foram considerados os mesmos parâmetros do estudo já iniciado. A partir daí, foram determinadas um maior número de distâncias para uma análise mais minuciosa sobre o comportamento das tensões induzidas em cada ponto. Na tabela 8 foram anotados os resultados desse ensaio.

| d1 (cm) | V1 (Vpp) | I1 (mA) | V2 (mVpp) |
|---|---|---|---|
| 4 | 5 | 8,33 | 470 |
| 10 | 5 | 8,33 | 440 |
| 20 | 5 | 8,33 | 408 |
| 30 | 5 | 8,33 | 320 |
| 60 | 5 | 8,33 | 307 |
| 120 | 5 | 8,33 | 281 |
| 240 | 5 | 8,33 | 246 |

Tabela 8 - Registro do ensaio de distanciamento realizado a partir do circuito 2.

Fonte: Próprio autor.

Na tabela 9 é apresentado o resultado do ensaio usando blindagem com papel alumínio recobrindo a linha receptora totalmente.

| **d1 (cm)** | **V1 (Vpp)** | **I1 (mA)** | **V2 (mVpp)** |
|---|---|---|---|
| 4 | 5 | 8,33 | 0 |
| 10 | 5 | 8,33 | 0 |
| 20 | 5 | 8,33 | 0 |
| 30 | 5 | 8,33 | 0 |
| 60 | 5 | 8,33 | 0 |
| 120 | 5 | 8,33 | 0 |
| 240 | 5 | 8,33 | 0 |

Tabela 9 – Registro do ensaio de blindagem com a linha receptora recoberta com papel alumínio.

Fonte: Próprio autor.

Após os ensaios realizados anteriormente e também com o conceito de propagação de sinal de forma angular em torno de um condutor reto e longo, foi testada também uma nova configuração de blindagem, com o mesmo papel alumínio, mas em forma de barreira entre as duas linhas, para que o comportamento do sinal pudesse ser observado à medida que as linhas eram distanciadas. A tabela 10 mostra os resultados obtidos e anotados a partir da leitura do osciloscópio, em comparação com os resultados sem a barreira.

| **d1 (Cm)** | **V1 (Vpp)** | **V2 - sem blindagem (mVpp)** | **V2 - com a barreira de blindagem (mVpp)** |
|---|---|---|---|
| 4 | 5 | 470 | 218 |
| 10 | 5 | 440 | 234 |
| 20 | 5 | 408 | 246 |
| 30 | 5 | 320 | 264 |
| 60 | 5 | 307 | 280 |
| 120 | 5 | 281 | 284 |

Tabela 10 - Registro do ensaio de blindagem da linha receptora com barreira de papel alumínio

Fonte: Próprio autor.

## 5 I DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Conforme pode ser visto na tabela 5, onde o sinal aplicado de 5V pico a pico e frequência de 20MHz na linha fonte, produziu tensões induzidas na linha receptora na ordem de 3,36V, 2,84V e 1,52V pico a pico a distâncias de 10, 50 e 100cm, respectivamente, ficando bem evidente que a distâncias maiores o sinal vai perdendo sua amplitude de acoplamento. Os ensaios de posicionamento apresentados na tabela 6, onde há três configurações distintas de posicionamento entre as linhas, percebe-se a atenuação da tensão induzida com a linha receptora posicionada perpendicularmente a 90 graus (em formato de um "T"), resultando em um sinal de menor amplitude, 980mV pico a pico, do que as outras posições. Na posição com as linhas verticais e sobrepostas, há o maior acoplamento induzido de 2,18V pico a pico podendo ser comparado aos resultados das linhas distanciadas na horizontal próxima; com elas cruzadas e sobrepostas há influência do posicionamento a 90 graus, que faz com que o sinal induzido seja atenuado significativamente em relação à posição anterior, resultando em 1,44V pico a pico, mesmo estando uma linha sobreposta a outra.

Na tabela 7, é apresentado um comparativo do sinal resultante explorando a blindagem com papel alumínio e o circuito sem a blindagem. O que pode ser visto é que há a blindagem total do sinal induzido quando a blindagem envolve a linha "vítima", em distâncias mais próximas e razoavelmente maiores entre ambas, e também existe blindagem do sinal propagado pela linha fonte quando ela está totalmente envolvida pela blindagem. Na tabela 8 há os resultados do ensaio feito usando o Gerador de Van der Graff como fonte de interferências eletromagnéticas, que mostram o aparecimento de sinais parasitas que se acoplam na linha receptora quando as descargas elétricas são provocadas pelo bastão, com frequências que variaram com a distância, sendo para 4,5kHz em 10cm para 50cm, mas manteve a mesma amplitude do sinal induzido de 200mV.

Os resultados da tabela 9 mostraram que da mesma maneira que aconteceu no ensaio com o circuito 1, o distanciamento entre as linhas diminuiu a amplitude do sinal de interferência no circuito 2. O ensaio com mais variações na distância, é possível perceber que as variações não seguiram uma linha coerente, como por exemplo, no par de distâncias dobradas - 10 para 20 centímetros e 30 para 60 centímetros – que resultou variações na ordem de 32mV e 13mV pico a pico respectivamente. Utilizando o mesmo circuito das linhas de transmissão para o ensaio de blindagem, os resultados da tabela 10 mostram que a blindagem com papel alumínio, envolvendo a linha receptora, atenua totalmente o sinal como foi visto no ensaio do circuito 1.

Utilizando ainda o circuito 2 das linhas de transmissão para blindagem utilizando o papel alumínio como barreira, os resultados da tabela 11 mostram que há atenuação do sinal induzido na linha receptora quando as distâncias entre as linhas e a barreira são menores – 4, 10, 20 e 30cm - produzindo sinais significativamente menores comparados com o

ensaio sem blindagem, de 218mV, 234mV, 246mV e 264mV pico a pico respectivamente. Conforme o aumento da distância entre as linhas e a barreira, a diferença entre as tensões induzidas sem a barreira e com a barreira vai diminuindo até que a blindagem perca sua total eficiência, como pode ser visto na distância de 120cm.

## 6 | CONCLUSÃO

A partir do primeiro ensaio executado como relatado nos resultados, houve impossibilidade em obter as medições com as linhas de transmissão menores (50cm), devido à frequência insuficiente do gerador disponível no laboratório, o que fez com que elas tivessem de ser aumentadas em comprimento. Apesar disso, de maneira geral, os resultados mostraram o que era esperado a partir do que foi estudado na teoria, que houvesse tensões induzidas na linha de prova a partir do fluxo das linhas de propagação de campo magnético provocado pela variação de corrente elétrica no tempo, conduzida nos fios da linha geradora. A diminuição desta tensão induzida com o distanciamento, baseado no que foi descrito por PAUL (1990) que cita sobre como a distância entre as linhas de transmissão causam diminuição nos coeficientes de acoplamento indutivo e capacitivo provocados pela tensão e corrente aplicados pelo gerador de ondas arbitrárias, também era um resultado esperado e conclusivo. Nisso, os resultados dos ensaios com o circuito 1 (tabela 5) e do circuito 2 (tabela 9), conseguiram mostrar que há relação entre os acoplamentos indutivo e capacitivo com a distância entre as linhas, conforme mais longe uma da outra menor a amplitude do sinal, até que não seja mais válida essa relação e não haja mais tensão induzida na linha receptora. A de se observar que esses valores podem não ser tão exatos levando em consideração que há imprecisão dos equipamentos, as condições do ambiente, os erros nos arredondamentos e etc.

Os resultados do ensaio de posicionamento (tabela 6) foram positivos e serviram para concluir que o acoplamento do sinal obedece à geometria na qual as linhas estão dispostas em um determinado plano. A linha receptora posicionada a 90 graus tem um campo maior para a variação negativa do fluxo magnético, por isso menor o sinal acoplado.

Os resultados dos ensaios de blindagem com a linha envolvida em papel alumínio, apresentaram no geral um comportamento esperado que foi a blindagem total do sinal parasita. Por outro lado, para o ensaio de blindagem utilizando o papel alumínio como barreira, havia uma expectativa de blindagem total do sinal, o que não ocorreu, mas sim uma atenuação do sinal significativa para as distâncias mais próximas entre as linhas e a barreira. Analisando os resultados e a disposição dos componentes do ensaio, chegou-se à conclusão que essa atenuação deu-se a partir da propagação das linhas de campo magnético de maneira angular em torno dos condutores e a menor distância entre as linhas e a barreira, onde há o bloqueio das componentes de maior módulo de campo magnético,

diminuindo significamente o valor da tensão induzida. Concluiu-se que seria muito difícil a blindagem total com uma barreira de blindagem relativamente pequena devido ao grande raio de propagação das componentes de menor valor das linhas de campo magnético que vão ultrapassando a barreira e se acoplam a linha de transmissão, além de outras interferências provocadas por fontes externas que acabaram sendo vistas em algumas partes do laboratório.

As interferências de fontes externas foram algumas das dificuldades encontradas durante os ensaios, sendo que o laboratório da Universidade não é o mais adequado a esse tipo de investigação. O ideal seria realizar ensaios em locais onde houvesse isolamento a ruídos e contenção de reflexão de sinais, como em câmaras anecóicas.

Por fim, conclui-se que o trabalho atendeu as expectativas e mostrou-se ser uma ferramenta interessante para o aprendizado e a consolidação dos conhecimentos aprendidos em sala de aula, sobre eletromagnetismo básico e aplicado na engenharia, abrindo espaço para outras investigações e estudos que não foram o foco deste trabalho, como por exemplo, os parâmetros e propagação das ondas guiadas por linhas de transmissão.

## REFERÊNCIAS


DREWNIAK, J. L. **Coupling Through the Magnetic Field - Faraday's Law.** 2015**;** EMC Laboratory - University of Missouri-Rolla. 9p.

DREWNIAK, J. L; DUBROFF, R. E. **Transmission Lines with Reactive Terminations**. 2015; EMC Laboratory - University of Missouri-Rolla. 6p.

DREWNIAK, J.L.; HUBING, T. H.; VAN DOREN, T. P.; SHA, F. **Integrating electromagnetic compatibility.** 2015**;** Laboratory exercises into undergraduate electromagnetics. 40p.

FLEISCH, D. **A Student Guide to Maxwell's Equations.** New York: Cambridge University Press, 2008. 134p.

GEETHA, S. et al. EMI Shielding: Methods and Materials - A Review. **Wiley InterScience [online].** vol. 112, 14p., 2008.

PAUL, C. R. Crosstalk in Cables. **EMC Educational Manual**. Lexington: EMC Society, 1990. Pp. 5 - 12.

PAUL, C. R. **Eletromagnetismo para Engenheiros** – Com aplicações a Sistemas digitais e Interferência Eletromagnética. Rio de Janeiro: LTC, 2006. 379p [a].

PAUL, C. R. **Introduction to Electromagnetic Compatibility.** New Jersey: John Wiley, 2006. 989p [b].

PRESTES, D. P. ***Plataforma para injeção de ruído eletromagnético conduzido em circuitos integrados***. 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SADIKU, M. N. O. **Elementos de Eletromagnetismo**. 5ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. pp.114-119 e 334-335.

# CAPÍTULO 12

# ESTUDO DA VIABILIDADE DE RECUPERAÇÃO DE METAIS EM PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

**Cláudia Fernanda Spagnol Cocenza**
Universidade São Francisco, Engenharia Química
Campinas-SP
http://lattes.cnpq.br/8630283707527334

**Yasmin Abrahão Pacheco Boiago**
Universidade São Francisco, Engenharia Química
Campinas-SP
http://lattes.cnpq.br/2293474410122744

**Renato Franco de Camargo**
Universidade São Francisco, Engenharia Elétrica
Campinas-SP
http://lattes.cnpq.br/2446780558301454

**Roberta Martins da Costa Bianchi**
Universidade São Francisco, Engenharia Química
Campinas-SP
http://lattes.cnpq.br/1178282277362723

**RESUMO**: Devido às novas tecnologias e à diminuição da durabilidade dos equipamentos eletroeletrônicos, nas quais, consequentemente, ocorre a geração de resíduos, observa-se a necessidade de recorrer aos métodos de reciclagem e de recuperação dos metais contidos nas placas de circuito impresso (PCI), uma vez que estas estão presentes na grande maioria dos equipamentos eletroeletrônicos (EEE). Nesse contexto, em virtude da existência de diversas técnicas, este trabalho teve como objetivo apresentar os principais métodos de recuperação de metais em PCIs, como, também, suas vantagens e desvantagens por meio de uma metodologia comparativa entre as bibliografias existentes. O método considerado o mais benéfico e viável, referente aos aspectos apresentados, sendo eles consumo de energia, consumo de água, geração de resíduos, tempo de processo e custo operacional foi o processo biohidrometalúrgico.

**PALAVRAS-CHAVE**: Lixo eletrônico, PCI, resíduos, meio ambiente, recuperação de metais.

## STUDY OF THE VIABILITY OF RECOVERING METALS IN PRINTED CIRCUIT BOARDS

**ABSTRACT**: Faced with new technologies and the decrease in the durability of electronic equipment, in which, consequently, waste is generated, there is a need to resort to methods of recycling and recovery of metals contained in printed circuit boards (PCB), since these are present in the vast majority of electrical and electronic equipment (EEE). In this context, due to the existence of several techniques, this work aimed to present the main methods of metal recovery in PCBs, as well as their advantages and disadvantages through a comparative methodology between existing bibliographies. The method considered the most beneficial and viable, referring to the aspects presented, namely energy consumption, water consumption, waste generation, process time and operating cost was the biohydrometallurgical process.

**KEYWORDS**: Electronic waste, PCB, waste,

environment, metal recovery.

## 1 I INTRODUÇÃO

O crescimento populacional aliado ao poder aquisitivo e o avanço da tecnologia, vem sendo um dos causadores do aumento do consumo dos equipamentos eletroeletrônicos (EEE) e, consequentemente, da diminuição da sua vida útil, também chamada de obsolescência programada. Ligados a estes fatores, quando estes EEEs sofrem algum tipo de dano são transformados em lixos eletrônicos, conhecidos como resíduo de equipamento eletroeletrônico (REEE), já que, muitas vezes, comprar um aparelho novo é mais simples do que consertá-lo.

Em vista disso, a logística reversa tem grande importância neste cenário de pós consumo, uma vez que acompanha o produto desde sua venda até a sua volta à empresa que o vendeu, possibilitando, desta forma, o retorno de bens ou materiais novamente ao ciclo produtivo e, consequentemente, sendo reutilizados na fabricação de novos produtos. Desta forma, a fim de melhorar esta gestão dos REEE, várias diretrizes nacionais e internacionais foram criadas. A União Europeia (UE) foi pioneira nesse quesito, criando as diretivas *Waste Electrical and Eletronic Equipament* (WEEE) e a *Restriction of Certain Hazardous Substances* (RoHS), ambas em 2006. Já no Brasil, existe a Norma Brasileira ABNT/NBR 10.004/2004, Lei Federal n° 12.305/2010 Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Resolução CONAMA nº 401/2008, entre outras legislações.

Quando os REEEs são descartados no lixo comum, liberam produtos de caráter altamente tóxico, como, por exemplo, arsênio (As), cádmio (Cd), cobre (Cu), mercúrio (Hg), alumínio (Al) e chumbo (Pb), que possuem a capacidade de penetrar no solo, contaminando lençóis freáticos e, como consequência, a fauna, a flora e os seres humanos. Portanto, visando contribuir com a redução do impacto ambiental, inúmeras possibilidades vêm sendo desenvolvidas e aplicadas, além de metodologias de recuperação e de reciclagem, através de processos mecânicos, químicos e biotecnológicos, de metais preciosos ou não e de materiais poliméricos e cerâmicos que fazem parte da composição das sucatas tecnológicas.

Grande parte dos EEEs possuem Placas de Circuito Impresso (PCI) que representam 3% da totalidade do REEE produzido. A recuperação de metais preciosos através de resíduos de PCIs fez-se algo relevante e interessante do ponto de vista econômico, visto que estes metais fazem parte de, aproximadamente, 95% do valor total intrínseco das PCIs e suas concentrações, no REEE, podem ser até 10 vezes maiores que nos minérios (CALDAS *et al.*, 2015). Além disso, os benefícios vão desde a preservação de fontes de matéria-prima e redução do consumo de água e energia, como, também, a redução da emissão dos gases de efeito estufa (GEE), contribuindo, dessa forma, com a redução do

aquecimento global.

Nesse contexto, diante da existência de diversas técnicas de recuperação e de reaproveitamento das PCIs, este trabalho tem como objetivo apresentar os principais métodos de recuperação dos metais contidos nas PCIs, como também, suas vantagens econômicas, ambientais, eficiência e viabilidade, através de uma metodologia comparativa entre as bibliografias existentes.

## 2 | REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Lixo Eletrônico

Os EEEs representam um conjunto de produtos que possuem circuitos ou partes elétricas com funcionamento através de fonte de alimentação ou bateria. Atualmente, estão presentes na maior parte das empresas e dos lares pelo mundo inteiro e referem-se desde equipamentos simples de cozinha até as tecnologias de informação e comunicação (TIC) mais modernas (FORTI, 2019).

Entretanto, quando o primeiro defeito de um equipamento eletrônico aparece e ao passo que novas tecnologias são disponibilizadas no mercado, trazendo vantagens a sociedade, observa-se a sua rápida substituição, contribuindo com o aumento de lixo eletrônico, também chamado de e-lixo, que muitas vezes, não dispõe de tratamento e disposição final correta (MOI *et al.*, 2012). A aquisição dos EEEs pode ser explicada pelo intuito do ser humano de atender às suas necessidades e pelo seu bem-estar, mas pode ser esclarecida, até mesmo, pelo fato de "quanto mais se tem, mais se deseja ter" e pela expansão do sistema capitalista (BASSI, LOPES, 2017). Todavia, nos últimos tempos, observa-se que o avanço tecnológico vem transformando produtos recém-anunciados e duráveis em produtos ultrapassados e obsoletos, resultado do plano competitivo que as indústrias têm mostrado, ou seja, a rapidez com que as tecnologias são inovadas (ROCHA *et al.*, 2010).

Através de estudos executados pelo programa ambiental da Organização das Nações Unidas (ONU), Caldas (2017), aponta que a geração mundial de REEE é cerca de 20 a 50 milhões de toneladas por ano e o seu avanço é três vezes maior que outros tipos de lixos urbanos. No Brasil, a média de geração de REEE é de 680 mil toneladas por ano e que o país descarta cerca de 10 milhões de computadores anualmente. A Figura 1 mostra a quantidade de e-lixo global, gerado por ano, além de uma projeção até o ano de 2030.

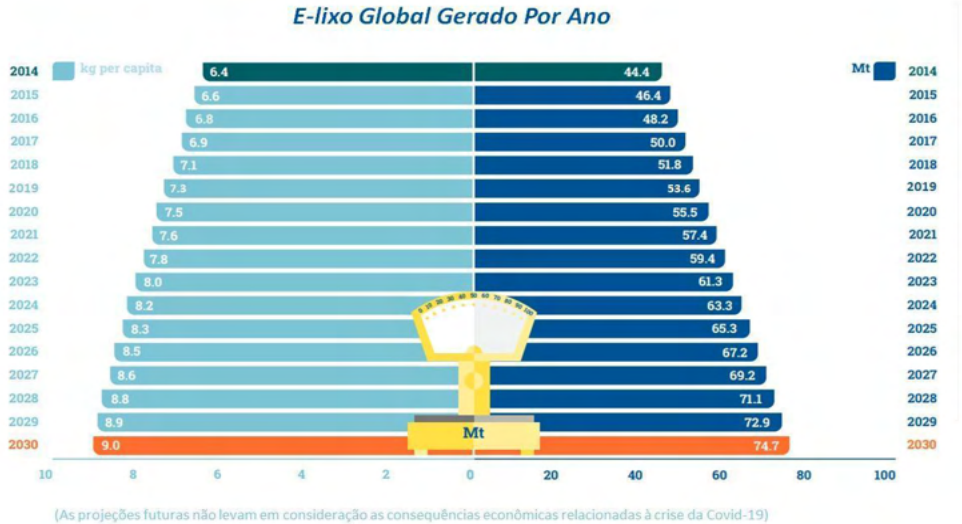



Figura 1 - Quantidade de e-lixo global gerado por ano

Fonte: Adaptado de Forti *et al.* (2020).

Contudo, quando os REEE são descartados em locais inapropriados, podem prejudicar o ecossistema, tanto pela manipulação direta das PCIs e de seus componentes, quanto acidentalmente, em razão dos equipamentos que são despejados nos aterros sanitários, contaminando a água e o solo, por meio de seus componentes tóxicos, como metais pesados, as substâncias halogenadas, os gases do efeito estufa, entre outros (ROCHA *et al.*, 2010).

## 2.2 Legislações Vigentes (Internacionais e Nacionais)

Constantemente, legislações ecossistêmicas são criadas e/ou alteradas de modo que compreenda distintas questões do ciclo de vida dos produtos que se apliquem às inúmeras etapas de logística reversa e tendendo a atribuir responsabilidades às organizações produtoras pelo equacionamento da volta dos produtos, assim que seus respectivos fins são declarados (LAVEZ et al., 2011). Desta forma, Caldas (2017) sugere que uma opção para a destruição dos REEEs é o fato de países exportarem seus descartes para os países emergentes. Com o objetivo de impedir esta ação, criou-se a Convenção da Basiléia, referente ao Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu armazenamento.

O continente europeu foi pioneiro na criação de debates sobre a política de destinação, de tratamento e de proibição de alguns materiais que fazem parte da composição dos EEEs. Em vista disso, a elaboração de diretivas foi discutida visando a normatização dos procedimentos relacionados à destinação e manuseio dos REEE. Como

estas diretivas foram criadas na Europa, elas possuíram repercussão mundial na produção de EEE (CALDAS, 2017). O Quadro 1 apresenta um resumo das principais legislações de vigência internacional, nacional e seus objetivos.

| **Legislação Internacional** | **Objetivos** |
|---|---|
| *Waste Electrical and Eletronic Equipament Directive* (WEEE), 2006 | • Responsabiliza a empresa pela disposição final de seus EEE, sem custo adicional ao seu cliente, abrangendo, desta forma, coleta, reciclagem, reutilização e recuperação além de visar a minimização do descarte dos REEEs; determina que cotas de reciclagem e de recuperação de e-lixo sejam alcançadas;<br>• Incentiva à reciclagem e à proibição de disposição inapropriada. |
| *Restriction of Certain Hazardous Substances* (RoHS), 2006 | • Limita a utilização de chumbo, mercúrio, cádmio, cromo hexavalente, bifenilospolibromados (PBBs) e éteres difenil-polibromados (PBDEs)<br>• Obriga, ao mínimo, 27 países do continente europeu a seguirem suas regulamentações técnicas, além de contemplar a gestão de produtos, de métodos de produção e de processos, englobando indústrias têxteis, de calçados e de couro.<br>• Deve ser seguida por aqueles países que exportam seus produtos para a União Europeia. |
| Nacional | |
| Norma brasileira ABNT/ NBR 10.004/2004 | • Classifica os resíduos sólidos de acordo com seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde humana, para que possam ser gerenciados de forma adequada. |
| Lei Federal 12.305/2010 Política Nacional de Resíduos Sólidos | • Cria diretrizes relacionadas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os perigosos às responsabilidades dos geradores e do Poder Público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. |
| Lei Estadual (SP) 13.576/2009 | • Cria metodologias e normas para a reciclagem, gerenciamento e disposição final de REEE. |

Quadro 1 - Resumo das principais legislações internacionais em vigência.

Fonte: Adaptado de Caldas (2017).

## 2.3 Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)

A PNRS, instituída pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, mostra-se como uma importante ferramenta para a população brasileira, uma vez que estabelece diretrizes para a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e a destinação final adequada para os resíduos sólidos gerados, minimizando os impactos ambientais (DEMAJOROVIC; MIGLIANO, 2013).

Do mesmo modo, a gestão integrada de resíduos sólidos são ações direcionadas para as dimensões econômica, política, social, cultural e ambiental, voltadas para o desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2012). Assim, devem-se reconhecer como

responsáveis pelo cumprimento de tais exigências os fabricantes, comerciantes, consumidores, dentre outros (MOI *et al.*, 2012). Conforme ressaltam Demajorovic e Migliano (2013), a lei também estimula a incorporação dos catadores de recicláveis em iniciativas para o aumento da coleta e destinação final de resíduos, reconhecendo-os como um grupo fundamental para a efetiva realização.

Segundo a estratégia da PNRS, pode-se citar como um de seus objetivos, de acordo com o Art. 7º, inciso II, medidas para: "não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos" (BRASIL, 2012, p. 13). Portanto, ainda que haja diversos desafios e esforços para o efetivo cumprimento da legislação, esta representa um grande avanço para o gerenciamento de resíduos sólidos, além de um compromisso com o meio ambiente.

## 2.4 A Importância da Logística Reversa

Cada vez mais, as empresas estão sendo responsabilizadas pelo ciclo integral de seus produtos, incluindo o seu descarte. Os produtos descartados possuem, usualmente, substâncias perigosas à saúde e ao meio ambiente e, diante disto, um seríssimo problema que começou a ganhar visibilidade nos debates é a destinação final que esses e-lixos recebem (LAVEZ et al., 2011). Neste cenário, a logística reversa se mostra importante, tornando possível o retorno de bens ou materiais ao ciclo produtivo (SILVA, 2019).

O Art. 3º, inciso XII, da PNRS (BRASIL, 2012, p. 11), apresenta como definição da logística reversa o seguinte:

> [...] instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.

A logística reversa de pós-consumo assume papel importante auxiliando o gerenciamento dos resíduos eletroeletrônicos, além de possibilitar a reutilização e a reciclagem, já que diminui a quantidade deste tipo de lixo em aterros sanitários. Entretanto, para a efetiva implantação da logística reversa é necessário a conscientização dos fabricantes, recebendo os equipamentos obsoletos, mas, também, dos consumidores para que não descartem em lixo comum e sim destinem os equipamentos em desuso aos pontos de coleta (LIMA, 2015).

## 2.5 Impactos ao Meio Ambiente e à Saúde

Mundialmente, considera-se que houve um aumento na procura e na compra de EEEs e é visível que esta demanda continuará crescendo, consequentemente, aumentará a quantidade de e-lixo, que por sua vez, quando descartados de forma incorreta, vão para lixos comuns ou em lixões, acarretando danos e agravos à natureza e à saúde humana

devido aos metais pesados que fazem parte da sua composição e que são encontrados, principalmente, nas PCIs (TANAUE *et al.* 2015).

A toxicidade e a bioacumulação são as principais características que levam os metais pesados a serem considerados como perigosos. Os danos gerados através do contato com estas substâncias são graves e, na maioria das vezes, irreversíveis. Desta forma, é extremamente importante que ações sejam sistematizadas e tomadas para que os danos gerados pela coleta, segregação e disposição inapropriadas sejam eliminados (TANAUE *et al.* 2015; KEMERICH *et al*., 2013).

Os principais efeitos negativos à saúde humana causados pelos materiais tóxicos, presentes no lixo eletrônico, estão descritos no Quadro 2.

| Componente | Efeito na saúde | Onde é usado? |
|---|---|---|
| Chumbo (Pb) | Causa danos ao sistema nervoso (central e periférico), endócrino e sanguíneo, alucinações, insônia, raciocínio lento, irritabilidade. | Processo de solda das PCIs, computador, celular, televisão, vidro das lâmpadas elétricas e fluorescentes |
| Mercúrio (Hg) | Quando na água, o Hg transforma-se em metilmercúrio e este é capaz de se acumular nos organismos vivos. Causa danos cerebrais, problemas no fígado, distúrbios no estômago, nos rins e no sistema nervoso, mutações nos genes e no metabolismo. | Computador, TV de tela plana e celular |
| Cádmio (Cd) | Este metal é absorvido através da respiração e da ingestão. Possui danos irreversíveis. Metal de caráter cancerígeno. Causa envenenamento, danos aos ossos, rins, pulmões, afeta o sistema nervoso, provoca dores reumáticas e problemas nos pulmões. | Computador, monitores de tubo antigos, bateria de *notebooks* |
| Arsênio (As) | Metal de caráter cancerígeno. Causa doenças de pele, prejudica o sistema nervoso e pode causar câncer no pulmão. | Celular |

Quadro 2 - Materiais tóxicos presentes no lixo eletrônico e seus efeitos.

Fonte: Adaptado de Favera (2008), MOI *et al.* (2012) e Zeni et *al.* (2012)

## 2.6 Placas de Circuito Impresso (PCI)

As PCIs são placas que variam de tamanho e de componentes de acordo com o EEE no qual serão empregadas e são feitas de materiais poliméricos (30%), cerâmicos (30%) e metálicos (40%) e possuem uma ou mais camadas de cobre. Este metal, por sua vez, é um material com excelente condutividade elétrica e ótimas propriedades mecânicas (CALDAS, 2017; MEHL, 2011; SILVAS, 2014). Pode-se dizer que as PCIs têm o objetivo de fixar os componentes eletrônicos que compõem o circuito e, através das trilhas condutoras em cobre, possibilitam as conexões que estabelecem o contato elétrico, sendo usadas em

diversos produtos eletrônicos. (SILVA, 2019).

Atualmente, as PCIs fabricadas a partir da fibra de vidro são mais utilizadas, quando em comparação com as PCIs fabricadas a partir de fenolite, visto que a primeira possui ótima capacidade isolante e estabilidade dimensional. (MEHL, 2011). De acordo com Caldas (2017), a obtenção de metais através da mineração e a exploração dos recursos naturais causam consequências ao meio ambiente devido à contaminação da água, ar e solo. Além do mais, tais recursos naturais propendem a ficar cada vez mais escassos, tornando viável, no aspecto técnico, financeiro e econômico, a recuperação dos metais, através dos REEEs.

## 2.7 Métodos para Recuperação de PCIs

O não reaproveitamento dos REEE implica em um desaproveitamento de recursos naturais não renováveis (ZENI et al., 2012), assim, a reciclagem dos REEE, principalmente, das PCIs, se torna atrativa econômica e ambientalmente, devido aos diversos constituintes metálicos que podem ser recuperados (GOUVEIA, 2014). No Brasil, o processo mecânico tem sido utilizado para recuperar e reciclar metais presentes nas PCIs. Entretanto, na maioria das vezes, estes materiais são enviados para outros países, como EUA e Suíça (LOGREVERSA, 2020), devido ao baixo custo com o processo de exportação (Pafume et al. 2020).

Deste modo, um exemplo sustentável de reaproveitamento foi observado nas Olimpíadas de Tóquio 2020. As 5000 medalhas olímpicas e paraolímpicas (Figura 2) de ouro, de prata e de bronze foram produzidas 100% a partir da recuperação de, aproximadamente, 79 toneladas de dispositivos eletrônicos, como telefones celulares usados, arrecadados no Japão. Além disso, a quantidade final de metais extraídos foi cerca de 32 kg de ouro, 3500 kg de prata e 2200 kg de bronze (*THE TOKYO ORGANISING COMMITTEE OF THE OLYMPIC AND PARALYMPIC GAMES*, 2020).




Figura 2 - Medalhas dos Jogos de Tóquio 2020.

Fonte: *The Tokyo Organising Committee of the Olympic and Paralympic Games* (2020).

Diante da importância da reciclagem e recuperação dos metais constituintes das PCIs, faz-se necessário entender e conhecer os métodos que viabilizam essas práticas. Assim, destacam-se os processos mecânico, pirometalúrgico, eletrometalúrgico, hidrometalúrgico e o biometalúrgico.

### *2.7.1 Processo Mecânico*

O processo mecânico é o mais utilizado no Brasil, devido ao baixo custo do processo. Neste tipo de reciclagem, um pré-tratamento é realizado para separar os materiais poliméricos, cerâmicos e metálicos. Tal separação refere-se à associação de um ou mais procedimentos, como cominuição e classificação dos materiais, para que todo o volume descartado possa ser reaproveitado (GERBASE; OLIVEIRA, 2012).

### *2.7.2 Pirometalurgia*

A pirometalurgia consiste na volatilização de impurezas, através de processos como a incineração, pirólise, fusão, dentre outros, desta forma, os metais ficam concentrados em escórias, possibilitando posteriormente o refino (GOUVEIA, 2014). De acordo com Gerbase e Oliveira (2012), neste método, aplicam-se elevadas temperaturas, possibilitando a produção de metais puros, ligas e, até mesmo, compostos intermediários. Na pirometalurgia, o objetivo é concentrar metais em uma única fase e descartar os materiais que não são classificados como metais. A maneira mais habitual de retirar os polímeros e materiais não metálicos encontrados juntos aos materiais metálicos é através da queima ou da incineração. Tal método é bastante empregado nos processos de reciclagem de metais preciosos (VIVAS; COSTA, 2013).

### *2.7.3 Eletrometalurgia*

O processo eletrometalúrgico realiza o refino dos metais a partir da eletrólise e seu princípio baseia-se nas reações de oxirredução não espontâneas, na qual o material presente é dissolvido na forma de íon metálico e eletrodepositado no cátodo (GERBASE; OLIVEIRA, 2012). De acordo com Kasper (2016), a eletrometalurgia é dividida em duas técnicas diferentes: eletro-obtenção e o eletro-refino. A primeira é empregada na fabricação primária de metais obtidos através de processos de lixiviação, enquanto que, a segunda é utilizada para obter metais puros a partir da dissolução anódica seguida da redeposição catódica do metal desejado.

### *2.7.4 Hidrometalurgia*

A hidrometalurgia abrange processos de lixiviação, ácida ou básica, a fim de

solubilizar os metais do estado sólido para o estado líquido e processos de purificação, nos quais são concentrados os metais relevantes e também retiradas as impurezas mediante extração por solventes e adsorção (GOUVEIA, 2014 e JORGE, 2019). Neste método, duas lixiviações são realizadas: a primeira é realizada com ácidos, tais como ácido clorídrico (HCl), ácido sulfúrico ($H_2SO_4$), ácido nítrico ($HNO_3$) e ácido perclórico ($HClO_4$); a segunda lixiviação, normalmente, é realizada com água-régia, cianeto, tioureia, tiossulfato ou halogenetos (KASPER, 2016). A fim de obter seletividade durante o processo, pode haver a combinação dos agentes de lixiviação (SILVAS, 2014). Contudo vale ressaltar que no momento da escolha do agente lixiviante ideal, deve ser considerando os aspectos econômicos, disponibilidade, toxicidade, entre outros (GOUVEIA, 2014 e JORGE, 2019).

### *2.7.5 Biohidrometalurgia (Biometalurgia)*

A biometalurgia ocorre a partir das interações entre os metais e os microrganismos (GERBASE; OLIVEIRA, 2012; ZENI et al., 2012). Os microrganismos mais utilizados são *Leptospirillum ferrooxidans*, a *Acidithiobacillus thiooxidans* e a *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Entretanto, existem outras espécies de microrganismos que são utilizados, como *Metallogenium sp.*, *Sulfolobos acidocaldarius*, *Sulfobacillus thermosulfidooxidans*, *Crenothriz sp.*, *Leptothrix sp.* e *Gallionella sp*. Logo, para que se atinja maiores resultados, várias espécies são capazes de serem utilizadas ao mesmo tempo, no mesmo processo (SILVAS, 2014). Deste modo, o processo biometalúrgico, pode promover uma recuperação seletiva de metais, pois os microrganismos podem ligar sua superfície celular aos metais ou os transportarem para o meio intracelular (GOUVEIA, 2014). Este método encontra-se dividido em biolixiviação, na qual a recuperação de metais acontece devido aos sulfuretos metálicos e a biossorção, cuja extração é realizada devido às interações físico-químicas, utilizando-se materiais biológicos (JORGE, 2019).

## 3 | MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido a partir de uma revisão da literatura, por meio da base de dados periódicos da Capes e *Google* Acadêmico. As palavras chaves para consulta foram recuperação de metais em PCIs e lixo eletrônico.

Os quatro principais processos de recuperação identificados durante a pesquisa foram: pirometalúrgico, eletrometalúrgico, hidrometalúrgico e biometalúrgico e classificados numa escala numérica de 1 à 3, na qual o número 3 representou o processo mais viável e o número 1, o menos viável. Dessa forma, o método que obteve o maior somatório foi considerado o mais benéfico, de acordo com os aspectos analisados, sendo: (i) consumo de energia, (ii) consumo de água, (iii) geração de resíduos, (iv) tempo de processo e (v) custo operacional. Ao final, apresentou-se o percentual de recuperação de diferentes

metais que compõem as PCIs, obtidos por diferentes autores, através das principais técnicas existentes.

## 4 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

As PCIs são consideradas heterogêneas por apresentarem diversos constituintes, fibra de vidro (30%), resina epóxi (15%), cobre (32,5%), alumínio (3,73%), ferro (1,42%), estanho (0,96%), (Silvas 2014 e Zeni et al. 2012), tornando sua reciclagem complexa. Dessa forma, ao escolher um processo de reciclagem, vários aspectos devem ser considerados, visto que, alguns processos podem ser mais perigosos à saúde humana e à natureza.

O primeiro aspecto a ser considerado é o consumo de energia, de acordo com Vivas e Costa (2013), a hidrometalurgia e a biohidrometalurgia são processos muito semelhantes e têm como vantagem a não necessidade de utilizar recursos energéticos significativos, como, geradores de energia. A pirometalurgia, comparada a estes dois processos, possui uma demanda extremamente alta, uma vez que são necessárias enormes quantidades de energia para que altas temperaturas sejam atingidas. O processo eletrometalúrgico também demandam certa quantidade de energia, entretanto, comparado à pirometalurgia, torna-se baixa.

A Figura 3 apresenta a escala de classificação dos processos, na qual 1 é pouco vantajoso e 3 é vantajoso.

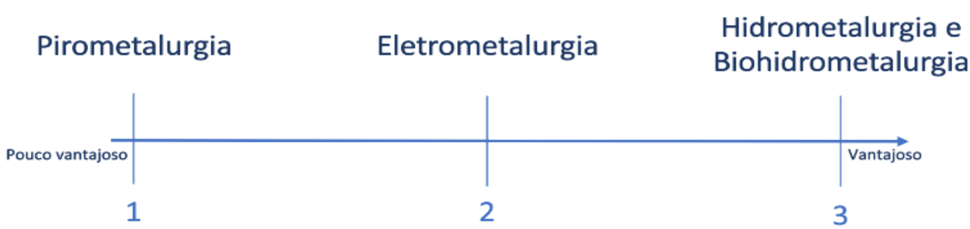



Figura 3 - Consumo de energia.

Fonte: Próprio autor

Outro fator importante é o consumo de água durante os processos. Nas experiências descritas por Vivas e Costa (2013), nos processos biohidrometalúrgicos e hidrometalúrgicos o consumo de água é volumoso, visto que são métodos que empregam grande quantidade de líquidos em sua execução. Entretanto, na pirometalurgia, a utilização de água usada no resfriamento de equipamentos e de caldeiras é menor, além disso, é reaproveitada durante o processo. Na eletrometalurgia, a água também é utilizada em quantidades menores,

porém, não é reaproveitada. Sendo assim, tem-se a seguinte escala (Figura 4).

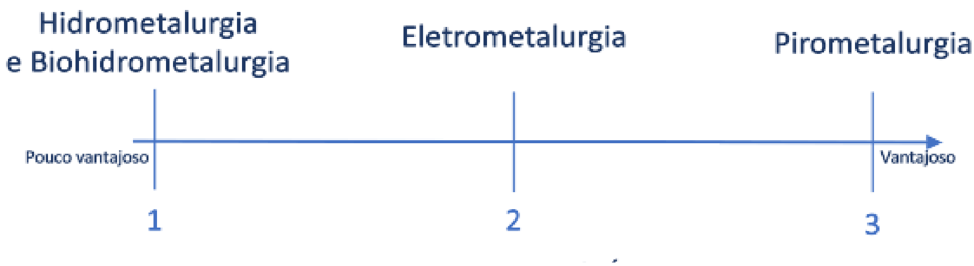



Figura 4 - Consumo de água.

Fonte: Próprio autor

A geração de resíduos é um aspecto que deve ser levado em consideração por apresentar produtos tóxicos. Segundo Vivas e Costa (2013), na hidrometalurgia são gerados efluentes líquidos contendo metais tóxicos e corrosivos, no entanto, resíduos gasosos e sólidos são quase inexistentes neste processo. No processo biohidrometalurgico resíduos sólidos, líquidos ou gasosos não são gerados. Já a eletrometalurgia não gera resíduos expressivos ou relevantes, inclusive, os eletrólitos gerados por este segundo processo podem ser reutilizados em outros processos de reciclagem. A pirometalurgia, através da queima de polímeros e de outros materiais isolantes, emite na atmosfera uma grande quantidade de poluição, como, por exemplo, dioxinas e furanos. Além destes resíduos gasosos, são gerados resíduos sólidos de árdua reciclagem, entre estes, escórias de materiais cerâmicos, metais e polímeros com elevada dificuldade de reciclagem. Desta forma, tem-se a seguinte escala (Figura5).




Figura 5 - Geração de resíduos.

Fonte: Próprio autor

Vivas e colaboradores (2013), observou que o tempo de processo no método hidrometalúrgico necessita de extensas etapas de lixiviação e alta exposição do metal à solução lixiviadora para que a eficiência seja alta. Além disso, antes do início das

etapas de lixiviação, um pré-tratamento mecânico é necessário, o qual envolve etapas de desmantelamento (desmontagem seletiva). Segundo Kasper (2016), o pré-tratamento visa aumentar a eficiência da lixiviação e reduzir a quantidade de agente lixiviante utilizado. Desta forma, tal processo, como também o método biohidrometalúrgico, requerem semanas ou até meses para que ocorra a recuperação dos metais presentes nos lixos eletrônicos. Como alternativa, os processos pirometalúrgicos não demandam a realização de pré-tratamentos, podendo ser aplicados a qualquer tipo de e-lixo, possuindo poucas etapas. A eletrometalurgia, da mesma forma, não exige várias etapas para que 100% dos metais desejados sejam capazes de ser dissolvidos (VIVAS; COSTA, 2013). Assim, os métodos foram classificados quanto a tempo de processo (Figura), em:

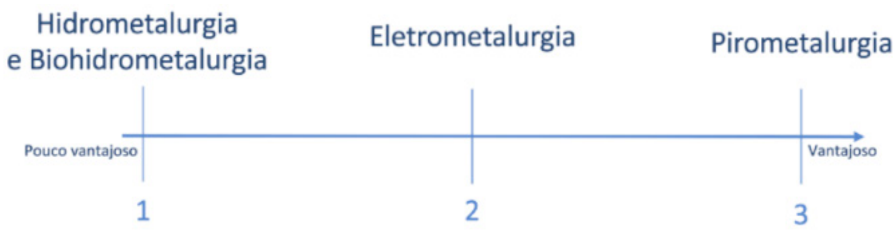



Figura 6 - Aspecto: Tempo de processo.

Fonte: Próprio autor

Destaca-se ainda que, o custo operacional é outro aspecto extremamente relevante. Diante disso, a biometalurgia é considerada um dos métodos mais atuais e promissores. Este processo abrange a biolixiviação, apresentando diversas vantagens, como: (i) baixo custo operacional, (ii) economia de insumos, (iii) baixo investimento inicial e (iv) baixo consumo energético quando comparado ao processo pirometalúrgico, já que este último processo requer um elevado consumo de energia e necessita de um alto investimento de implantação. A biometalurgia abrange, também, a biossorção, que oferece muitas vantagens, dentre elas: (i) baixo custo de operação e (ii) redução da quantidade de produtos químicos (ZENI *et al.* 2012).

Segundo Zeni e colaboradores (2012), quando comparado a outros processos, as maiores vantagens do processo hidrometalúrgico são: (i) separação mais simples entre os componentes e (ii) custos mais baixos. As vantagens da eletrometalurgia, quando comparada aos processos pirometalúrgicos, são: (i) poucas etapas e (ii) alta concentração de metais preciosos, que equivalem de 95 a 97% dos metais contidos nos resíduos. Sendo assim, tem-se a seguinte escala (Figura 7).




Figura 7 - Custo operacional.

Fonte: Próprio autor

O método que obteve o maior somatório (Tabela 1), sendo considerado o mais benéfico e viável, foi o processo biohidrometalúrgico.

| Processo de recuperação | Consumo de energia | Consumo de água | Geração de resíduos | Tempo de processo | Custo operacional | Somatório |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Pirometalúrgico | 1 | 3 | 1 | 3 | 1 | 9 |
| Eletrometalúrgico | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 10 |
| Hidrometalúrgico | 3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 9 |
| Biohidrometalúrgico | 3 | 1 | 3 | 1 | 3 | 11 |

Tabela 1 - Somatório dos aspectos apresentados por processo.

Fonte: Próprio autor

Referente ao percentual de recuperação, vários estudos que contemplam métodos e metais recuperados diferentes foram analisados. De acordo com Silvas (2014), realizou-se duas etapas de extração sólido/líquido no método hidrometalúrgico, a primeira foi em meio sulfúrico e a segunda em meio sulfúrico oxidante, a extração de cobre foi de 100% e o fator de recuperação foi de 98,46%, o qual representou 32 kg de cobre para 100 kg de PCI. Em outra metodologia, apresentada por Martins (2007), a partir de processos que envolvem lixiviação ácida, com uma solução de 3,0N HCl + 1,0N $HNO_3$, foi possível recuperar 86% de Sn. Já, a rota hidrometalúrgica utilizada por Caldas *et al.* (2015), incluiu a lixiviação em ácido sulfúrico a 75°C por 18 horas, lixiviação em ácido sulfúrico em meio oxidante a 75°C por 6 horas e lixiviação em ácido nítrico a temperatura ambiente por 2 horas, dessa forma, foi possível uma recuperação de 96,6% de prata.

Silvas (2014) alcançou, a partir de um processo biohidrometalúrgico, utilizando uma cepa bacteriana composta por três espécies microbianas: *Leptospirillum ferrooxidans*, a *Acidithiobacillus thiooxidans* e a *Acidithiobacillus ferrooxidans*, 100% para a extração de cobre, utilizando 2% de densidade de polpa e 100% de inóculo e o fator de recuperação de 100%, o qual representou 32,5 kg de cobre para 100 kg de PCI. Já, Brandl et al. (2001)

utilizaram microrganismos no processo de lixiviação dos metais que foram obtidos por meio do e-lixo. Bactérias das espécies *Thiobacillus thiooxidans* e *T. ferrooxidans* e fungos da espécie *Aspergillus niger* e *Penicillium simplicissimum* foram capazes de serem cultivados na existência de lixo eletrônico. Como resultado, pode-se citar que, em locais onde as concentrações de e-lixo foram entre 5 a 10 g/L, as bactérias foram capazes de lixiviar mais de 90 % de, Zn, Ni, Al e Cu. Enquanto isso, as duas espécies de fungos estimularam a recuperação de 65 % de Sn e Cu e mais de 95 % de Pb, Zn, Al e Ni.

Outro estudo realizado por Urbanski et al. (2000) mostrou que, a partir de técnicas de eletro-obtenção com soluções de pH ácido de tioureia e álcool, em uma temperatura de 60°C, pode-se obter uma recuperação de 96-100% de ouro. Já, no estudo realizado por Vegliò et al. (2003), o autor submeteu materiais residuais à microscopia eletrônica de varredura (MEV), raio x e análise química para que os mesmos pudessem ser caracterizados. Logo após a lixiviação destes materiais, os autores submeteram as amostras a um processo de eletro-obtenção visando a recuperação de cobre e níquel e obtiveram, no cátodo, 94-99 % da massa inicial destes dois elementos químicos.

Na Tabela 2, tem-se um resumo do percentual de recuperação de cada metal, por metodologia e por autor.

| Autor | Metodologia Utilizada | Metal Recuperado | Percentual de Recuperação |
|---|---|---|---|
| Silvas (2014) | Hidrometalurgia | Cobre | 98,46% |
| Martins (2007) | Hidrometalurgia | Estanho | 86% |
| Caldas et al. (2015) | Hidrometalurgia | Prata | 96,60% |
| Silvas (2014) | Biohidrometalurgia com bactérias | Cobre | 100% |
| Brandl et al. (2001) | Biohidrometalurgia com bactérias | Zinco, Níquel, Alumínio e Cobre | > 90% |
| | Biohidrometalurgia com fungos | Estanho e Cobre | 65% |
| | | Chumbo, Zinco, Alumínio e Níquel | > 95% |
| Urbanski et al. (2000) | Eletrometalurgia | Ouro | 96 - 100% |
| Vegliò et al. (2003) | Eletrometalurgia | Cobre e Níquel | 94 - 99% |

Tabela 2 - Percentual de recuperação de cada metal.

Fonte: Próprio autor

De acordo com Pafume e colaboradores (2020), as maiores dificuldades envolvidas na criação de uma unidade de reciclagem dos metais de PCI tratam-se do (i) investimento inicial extremamente elevado, uma vez que o processo exige muita complexidade, (ii) da exigência de grande área para instalação e (iii) do controle de emissões de gases e de poluentes (metais pesados e substâncias cancerígenas). Aliás, a complexidade do

processo será diretamente proporcional à quantidade de metais que possuem o interesse de recuperação. Em vista disso, o Brasil deixa de ganhar diversas divisas uma vez que não dispõe de uma usina recicladora de metais de PCI, que, mesmo exigindo um alto investimento inicial, é uma operação extremamente lucrativa.

## 5 | CONCLUSÃO

O presente trabalho abordou o expressivo aumento de lixo eletrônico decorrente da rápida substituição dos equipamentos eletroeletrônicos, cujo descarte dos resíduos gerados, muitas vezes, não é adequado. Dessa forma, pôde-se perceber a importância da conscientização em relação à reciclagem e à recuperação dos metais contidos nas PCIs, minimizando-se os impactos socioambientais, sendo observados através da redução dos gases de efeito estufa que contribui com a redução do aquecimento global, como, também, da preservação de fontes de matéria-prima, da diminuição do gasto com aterros sanitários e da redução no gasto de energia.

Para atingir-se uma compreensão das técnicas existentes, apresentou-se as principais características dos métodos aplicados na recuperação dos metais presentes nas PCIs. A biohidrometalurgia apresentou-se como a mais promissora das tecnologias utilizadas na recuperação de metais das PCIs. O procedimento mais conhecido e utilizado no Brasil é o processo mecânico, devido ao seu baixo custo.

O método considerado o mais vantajoso, referente aos aspectos apresentados, sendo eles consumo de energia, consumo de água, geração de resíduos, tempo de processo e custo operacional, foi o processo biohidrometalúrgico.

## REFERÊNCIAS


BRANDL, H; BOSSHARD, R; WEGMANN, M. **Computer-munching microbes: metal leaching from electronic scrap by bacteria and fungi**. Hydrometallurgy**,** [S.L.], v. 59, n. 2-3, p. 319-326, fev. 2001. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304386X00001882. Acesso em: 26 out. 2020.

BASSI, Maria Carolina Poholink Cabral; LOPES, Claudia Cristina. **A Sociedade do Consumo E Suas Consequências Socioambientais.** p. 100-125, 2017. Disponível em: https://cadernopaic.fae.edu/cadernopaic/article/view/251. Acesso em: 15 maio 2020.

BRASIL. [Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010]. **Política Nacional de Resíduos Sólidos.** – 2. ed. – Brasília : Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2012. (Série legislação; n. 81). Disponível em: https://www.poli.usp.br/wpcontent/uploads/2018/10/politica_residuos_solidos.pdf. Acesso em: 3 maio 2021.

CALDAS, Marcos Paulo Kohler. **Síntese de nanopartículas de prata a partir da reciclagem de placas de circuito impresso.** 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-20072017-151234/en.php. Acesso em: 26 maio 2021.

CALDAS, Marcos Paulo Kohler; MORAES, Viviane Tavares de; JUNCA, Eduardo; TENÓRIO, Jorge Alberto Soares; ESPINOSA, Denise Crocce Romano. **Reciclagem de Placas de Circuito Impresso Visando Recuperação de Prata: Estudo de uma Rota Hidrometalúrgica.** Tecnologia em Metalurgia Materiais e Mineração, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 102-108, 2015. Editora Cubo.

DEMAJOROVIC, Jacques; MIGLIANO, João Ernesto Brasil. **Política nacional de resíduos sólidos e suas implicações na cadeia da logística reversa de microcomputadores no Brasil**. Gestão & Regionalidade, v. 29, n. 87, p. 64-80, set-dez, 2013. Disponível em: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=133429359006. Acesso em: 20 maio 2021.

FAVERA, Eduardo Ceretta Dalla. **Lixo eletrônico e a sociedade**. Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2008. Disponível em: https://www.mobilizadores.org.br/wp-content/uploads/2014/05/artigo_favera.pdf. Acesso em: 15 maio 2021.

FORTI, Vanessa. **O crescimento do lixo eletrônico e suas implicações globais**. Panorama Setorial da Internet, v. 4, p. 1-20, dez. 2019. Disponível em: https://cetic.br/media/docs/publicacoes/6/20191211170920/panorama-setorial-xi-4-lixo-eletronico.pdf. Acesso em: 4 maio 2021.

FORTI, Vanessa; BALDÉ, Cornelis Peter; KUEHR, Ruediger; BEL, Garam. **The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows, and the circular economy potential.** 2020. Disponível em: http://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2020/12/GEM_2020_def_dec_2020-1.pdf. Acesso em: 4 maio 2021.

GERBASE, Annelise Engel; OLIVEIRA, Camila Reis de. **Reciclagem do lixo de informática: uma oportunidade para a química**. Química Nova, Porto Alegre, v. 35, n. 7, p. 1486-1492, 2012. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/qn/v35n7/v35n7a35.pdf. Acesso em: 05 maio 2021.

GOUVEIA, André Redondo. **Recuperação de metais de placas de circuito impresso por via hidrometalúrgica.** Orientador: Joana Maia Moreira Dias. 2014. 63 f. Tese (Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, FEUP, Porto, Portugal, 2014.

JORGE, António Sérgio Sousa. **Recuperação de cobre em Placas de Circuito Impresso: Lixiviação por percolação usando uma solução amoniacal.** Orientador: Sílvia Cardinal Pinho. 2019. 63 f. Tese (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, FEUP, Porto, 2019.

KASPER, Angela Cristina. **Aplicación de técnicas de hidrometalurgia y electrometalurgia a la recuperación de oro de placas de circuitos de teléfonos móviles.** 2016. 135 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidad Politècnica de València e Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

KEMERICH, Pedro Daniel da Cunha; MENDES, Sabrina Altmeyer; VORPAGEL, Tatiane Hohm; PIOVESAN, Maurício. **Impactos ambientais decorrentes da disposição inadequada de lixo eletrônico no solo.** Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 10, n. 2, p. 208-219, mar./abr. 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/286283387_Impactos_ambientais_decorrentes_da_disposicao_inadequada_de_lixo_eletronico_no_solo. Acesso em: 30 maio 2021.

LAVEZ, Natalie; SOUZA, Vivian Mansano de; LEITE, Paulo Roberto. **O Papel da Logística Reversa no Reaproveitamento do “Lixo Eletrônico” – Um Estudo no Setor de Computadores**. Revista de Gestão Social e Ambiental, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 15-32, 6 jul. 2011. Disponível em: http://www.clrb.com.br/portal/us/arq/09_REVISTA%20GESTO%20SOCIAL%20E%20AMBIENTAL%202011_0.pdf. Acesso em: 03 jun. 2021.

LIMA, Anna Flávia de Oliveira et al. **Gestão de resíduos eletroeletrônicos e seus impactos na poluição ambiental**. Latin American Journal of Business Management. v. 6, n. 2, p. 109-126, jan-jun/2015.

LOGREVERSA. **Reciclagem de lixo eletrônico no Brasil**. 2020. Disponível em: https://logreversa.com.br/reciclagem-de-lixo-eletronico/. Acesso em: 30 out. 2021.

MARTINS, Afonso Henriques. **Recuperação de estanho e cobre a partir da reciclagem de placas de circuito eletrônico de microcomputadores sucatados**. Estudos Tecnológicos, v. 3, n. 2, p. 124-131, set. 2007. Disponível em: http://revistas.unisinos.br/index.php/estudos_tecnologicos/article/view/5735/2934. Acesso em: 03 jun. 2021.

MEHL, E. L. de M.. **Conceitos Fundamentais Sobre Placas De Circuito Impresso.** 2011. Disponível em: http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/te232/textos/PCI_Conceitos_fundamentais.pdf Acesso em: 24 maio 2021.

MOI, Paula Cristina Pedroso *et al*. **Lixo eletrônico: consequências e possíveis soluções**. CONNECTION LINE-Revista Eletrônica do UNIVAG, n. 07, p. 37-45, 2012. Disponível em: http://periodicos.univag.com.br/index.php/CONNECTIONLINE/article/view/105/390. Acesso em: 07 abr. 2021.

PAFUME, Robson; MARTINS, Harley Moraes; SILVA, Hudson Santos da; PEREIRA, Gustavo Simas. **Panorama da Reciclagem de Eletroeletrônicos No Brasil**. In: Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, 3., 2020, Gramado. 2020. Disponível em: http://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2020/II-007.pdf. Acesso em: 27 out. 2021.

ROCHA, Adilson Carlos da; CERETTA, Gilberto Francisco; CARVALHO, Andriele de Prá Carvalho. **Lixo eletrônico: um desafio para a gestão ambiental**. Revista Technoeng, Paraná, v. 1, n. 2, p. 35-49, dez. 2010. Disponível em: http://cescage.com.br/revistas/index.php/RTE/article/view/755. Acesso em: 07 abr. 2021.

SILVA, Emanuel Carlos Santana da. **Placas de circuito impresso: levantamento da composição.** 2019. 35f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Materiais) - Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/40353. Acesso em: 10 abr. 2021.

SILVAS, Flávia Paulucci Cianga. **Utilização de hidrometalurgia e biohidrometalurgia para reciclagem de placas de circuito impresso.** 2014. 222 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-28082015 114810/en.php. Acesso em: 19 maio 2021.

TANAUE, Ana Claudia Borlina; BEZERRA, Deivid Mendes; CAVALHEIRO, Luana; PISANO, Lilian Cristiane. **Lixo Eletrônico: Agravos à Saúde e ao Meio Ambiente**. Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**.** vol. 19, núm. 3, 2015, pp. 130-134 Universidade Anhanguera, Campo Grande, Brasil, 2015.

The Tokyo Organising Committee Of The Olympic and Paralympic Games. **Tokyo 2020 Olympic Medals.** 2020. Disponível em: https://olympics.com/tokyo-2020/en/games/olympics-medals/. Acesso em: 27 ago. 2021.

URBANSKI, T.S; FORNARI, P; ABBRUZZESE, C. **Gold electrowinning from aqueous– alcoholic thiourea solutions**. Hydrometallurgy, [S.L.], v. 55, n. 2, p. 137-152, mar. 2000.

VEGLIÒ, F; QUARESIMA, R; FORNARI, P; UBALDINI, S**. Recovery of valuable metals from electronic and galvanic industrial wastes by leaching and electrowinning**. Waste Management, [S.L.], v. 23, n. 3, p. 245-252, jan. 2003. Elsevier BV.

VIVAS, Renato de Castro; COSTA, Flávio Pietrobon. **Tomada de Decisão na Escolha do Processo de Reciclagem e Recuperação de Metais Das Placas Eletrônicas Através da Análise Hierárquica.** In: Congresso Brasileiro De Gestão Ambiental, 4, Salvador, 2013. p. 1-11.

ZENI, Adriana Marize; MACEDO, Marcelo; FREITAS FILHO, Fernando Luiz; HURTADO, Ana Lúcia Beretta; OLIVEIRA, Ivanir Luiz de. **Tecnologias para o tratamento e reciclagem de resíduo eletrônico como práticas sustentáveis inovadoras.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2., 2012, Ponta Grossa.

# CAPÍTULO 13

# LEVANTAMENTO DA CAUSA REFERENTE AOS DANOS E PATOLOGIAS ENCONTRADOS NA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA EM UMA VIA DE FLUXO MUITO PESADO

**Caroline Fernanda Ferreira**
Universidade São Francisco, Engenharia Civil
Bragança Paulista – SP
http://lattes.cnpq.br/2729318379577439

**Lillian Maria Destro**
Universidade São Francisco, Engenharia Civil
Bragança Paulista – SP
http://lattes.cnpq.br/0052011904766995

**Marcelo da Silva**
Universidade São Francisco, Engenharia Civil
Bragança Paulista – SP
http://lattes.cnpq.br/1019218213722298

**RESUMO:** A pavimentação asfáltica é uma estrutura destinada a oferecer conforto e confiabilidade ao tráfego de veículos de carga ou pessoas. No entanto, a falha em projetos e sua execução, conduz a patologias que danificam sua estrutura, e ocasionam transtornos aos usuários. Para sanar tais adversidades é apropriado conhecer as camadas que compõem o pavimento, bem como entender suas funções e as características dos materiais empregados, de modo a prever possíveis comportamentos diante das cargas advindas do fluxo de veículos. Para tanto, considerando os recorrentes problemas de formação de trincas, "panelas" e demais danos no cobrimento asfáltico da Avenida Alberto Diniz, trecho urbano que dá início à Rodovia Alkindar Monteiro Junqueira – SP 063 (considerando o sentido Bragança Paulista - Itatiba), o trabalho analisou a possível causa desses defeitos, bem como estudou a estrutura ideal para o pavimento local, determinando espessuras de acordo com o fluxo de veículos local e o solo existente. Por fim, o trabalho concluiu com um comparativo entre a situação ideal calculada e a existente, levantada através do ensaio de cone de penetração dinâmica (DCP).

**PALAVRAS-CHAVE**: Pavimentação asfáltica; estrutura; tráfego; patologias.

## SURVEY THE CAUSE OF DAMAGE AND PATHOLOGY FOUND IN ASPHALT PAVING IN A VERY HEAVY FLOW ROAD

**ABSTRACT:** Asphalt paving is a structure designed to offer comfort and reliability to the traffic of cargo vehicles or people. However, failure in projects and their execution, leads to pathologies that damage its structure, and cause inconvenience to users.To remedy such adversities, it is appropriate to know the layers that make up the pavement, as well as to understand their functions and the characteristics of the materials used, in order to predict possible behaviors in the face of loads arising from the flow of vehicles. Therefore, considering the recurrent problems of formation of cracks, "pots" and other damages in the asphalt covering of Avenida Alberto Diniz, the urban section that starts the Rodovia Alkindar Monteiro Junqueira - SP 063 (considering the direction Bragança Paulista - Itatiba), the This work will raise the possible cause of these defects, as well as study the ideal structure for the local pavement, determining thicknesses according to the flow of local vehicles

and the existing soil. Finally, the work will conclude with a comparison between the calculated ideal situation and the existing one, raised through the dynamic penetration cone test (DCP).
**KEYWORDS**: Asphalt paving; structure; traffic; pathologies.

## 1 I INTRODUÇÃO

### 1.1 Histórico e Situação Atual da Pavimentação

Desde a antiguidade, a utilização da pavimentação foi essencial para o desenvolvimento das civilizações, bem como, o crescimento de determinadas atividades, permitindo a busca e a conquista de novos territórios e o intercâmbio comercial, cultural e religioso.

Historicamente, no Brasil, a construção de estradas iniciou-se em 1560. Para ligar São Vicente ao Planalto Piratininga, houve a reconstituição do caminho nomeado Estrada do Mar (1661), hoje, parte dela está recuperada e é chamada de Estrada Velha do Mar. Outra referência é a Estrada Real, quel contribuiu historicamente para o país, com o transporte de ouro e café.

Atualmente, o modal rodoviário representa cerca de 60% dos transportes realizados no Brasil, fato esse que se confronta com a precariedade das estradas brasileiras, que pelo *déficit* de investimentos, encontram-se em circunstâncias críticas e desfavoráveis aos usuários.

### 1.2 Solos

A origem do solo dá-se por decomposição rochosa, sendo esta, decorrente de agentes químicos, físicos e biológicos. Conforme descrito por Pinto (2006), pode-se considerar que os solos são constituídos por partículas diversas da rocha matriz, água e ar, porém não é possível generalizar o comportamento do solo de variadas regiões, e submetido a esforços distintos.

Todos os solos são considerados permeáveis, e a presença de água e ar possibilita que as partículas fiquem livres e ocorra mudanças em seu estado (KNAPPETT; CRAIG, 2018). Além disso, a pressão líquida determina a resistência e a rigidez do solo. Em pavimentações, o solo é denominado subleito.

### 1.3 Compactação

A compactação faz parte da construção de uma pavimentação, e para cada tipo de estrutura, utiliza-se uma técnica, ou seja, desde a regularização do subleito ao acabamento do revestimento da superfície. O intuito é eliminar vazios para trazer estabilidade e resistência às camadas, proporcionando densidade e permeabilidade adequadas.

## 1.4 Mistura Asfáltica

É a camada que recebe de forma direta, ações climáticas e esforços de movimentação de carga, além de ser responsável pela comodidade e segurança das condições de rolamento, de acordo com Bernucci et al. (2006). É uma pavimentação do tipo flexível, constituída a partir da associação de ligantes asfálticos, agregados e em alguns casos, produtos complementares.

Há variação na fabricação e aplicação do ligante à frio e à quente, onde a em um, a aplicação deve ser em temperatura ambiente enquanto que, no outro deve ser feita em temperatura de até 177ºC. A diferença de temperatura reflete na aderência do fluido aos agregados.

## 1.5 Estrutura da Pavimentação Asfáltica

Existem dois tipos de pavimentos: rígido e flexível. O primeiro é composto de placas de Concreto de Cimento Portland (CCP), o segundo, é de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP).

As placas de concreto tendem a absorver e transmitir as cargas em um plano horizontal, enquanto que, em pavimentos asfálticos, a distribuição é majoritariamente vertical, gerando efeitos mais amenos ao subleito, como mostrado na figura 1.

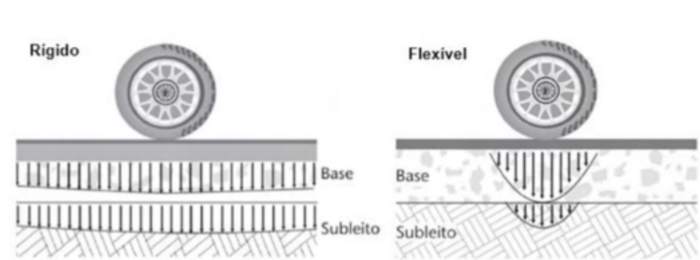



Figura 1 – Deformações nos pavimentos do tipo flexível e rígido.

Fonte: Balbo, 2007.

A estrutura de uma pavimentação asfáltica, consiste em suas camadas e a subjacente fundação. A capacidade estrutural depende do tipo do solo, das condições ambientais, da espessura e do tipo de material das camadas. Assim, abaixo da superfície de revestimento asfáltico, estão presentes camadas de suporte, compostas por materiais granulares tratados ou não, sendo estas denominadas de: base, sub-base, reforço de subleito e subleito.

Subleito, é a camada de apoio da estrutura, que recebe os esforços distribuídos pelas camadas superficiais, e que por vezes pode precisar do reforço de subleito, que segundo

o autor, “é executado normalmente em estruturas espessas resultantes de fundação de má qualidade ou tráfego de cargas muito pesadas, ou de ambos os fatores combinados” (SENÇO, 2008, p.9).

A sub-base e a base são responsáveis por transmitir os esforços aplicados na superfície até a fundação, sendo que a última deve ser mais resistente. A sub-base, também é tida como camada de bloqueio (SENÇO, 2008), de modo a não ocorrer transposição de materiais entre elas, no momento da compactação. As camadas são mostradas na figura 2.

Já o revestimento asfáltico pode ser divido em camadas, denominadas de rolamento, ligação, nivelamento ou reforço, em decorrência de necessidades técnicas, construtivas e de custo (BALBO[1], 2007 apud MARQUES, 2014).

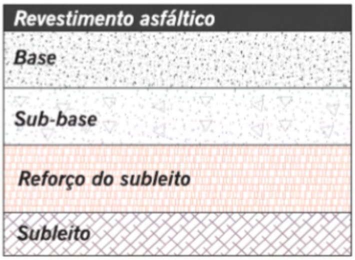



Figura 2 – Estrutura do pavimento tipo flexível.

Fonte: Bernucci et al., 2006.

## 1.6 Cálculo do Fluxo da Via

Informações sobre volume e composição do tráfego, são de grande importância para o gerenciamento de rodovias, bem como para o dimensionamento de pavimentos (UFRGS, 2019). Assim, para o cálculo de dimensionamento de pavimento, a contagem volumétrica ou pesquisa de fluxo de tráfego, tem utilização no conhecimento e comparação de demanda existente e projetada, classificação da via, cálculo do número N (relativo ao fluxo), entre outros fatores determinantes, como mostrado na figura 3.

1 BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica**: Materiais, Projetos e Restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

| N | N Caract. | Tráfego | Função Predominante | Projeto (anos) | Volume Inicial da Faixa mais Solicitada | | Equiv. por Veículo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Veículo Leve | Caminhões e Ônibus | |
| $2,7\times10^4$ a $1,4\times10^5$ | $10^5$ | Leve | Via local residencial | 10 | 100-400 | 4–20 | 1,50 |
| $1,4\times10^5$ a $6,8\times10^5$ | $5\times10^5$ | Médio | Via coletora secundária | 10 | 401–1500 | 21-100 | 1,50 |
| $1,4\times10^6$ a $3,1\times10^6$ | $2\times10^6$ | Meio pesado | Via coletora principal | 10 | 1501-5000 | 101-300 | 2,30 |
| $1,0\times10^7$ a $3,3\times10^7$ | $2\times10^7$ | Pesado | Via arterial | 12 | 5001-10000 | 301-1000 | 5,90 |
| $3,3\times10^7$ a $6,7\times10^7$ | $5\times10^7$ | Muito pesado | Via expressa | 12 | > 10000 | 1001-2000 | 5,90 |
| $3\times10^6$ | $10^7$ | Volume médio<br>Volume pesado | Exclusiva de ônibus | 12 | < 500<br>> 500 | - | - |

Figura 3 – Classificação e parâmetros de tráfego das vias.

Fonte: Dias, 2019.

Para isso, o volume diário médio (VDM) pode ser contabilizado manual ou automaticamente, e determina a quantidade, tipo, direção, sentido e composição do fluxo de veículos utilitários de uma seção da via, em um determinado período de tempo. Por fim, a variante N, equivalente ao número de operações do eixo padrão, é possível ser determinada a partir do volume de veículos e a classificação da via através de seu tráfego e função.

## 1.7 Cálculo da Espessura por Camada

A partir do número N, verifica-se a espessura mínima recomendada de revestimento betuminoso em pavimentos cuja camada de base seja puramente granular (DNIT, 2006). Essa espessura é ideal, de modo a proteger a base dos esforços impostos pelo tráfego e evitar a ruptura do revestimento devido a esforços advindos da tração e flexão, como mostrado na figura 4.

| N | Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso |
|---|---|
| $N \leq 10^6$ | Tratamentos superficiais betuminosos |
| $10^6 < N \leq 5\times10^6$ | Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura |
| $5\times10^6 < N \leq 10^7$ | Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura |
| $10^7 < N \leq 5\times10^7$ | Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura |
| $N > 5\times10^7$ | Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura |

Figura 4 - Espessura mínima de revestimento betuminoso, em função do número N.

Fonte: DNIT, 2006.

Para o dimensionamento da pavimentação, através do , obtém-se o valor de CBR

por camada, através do ábaco de determinação de espessuras do pavimento, como mostra a figura 5.

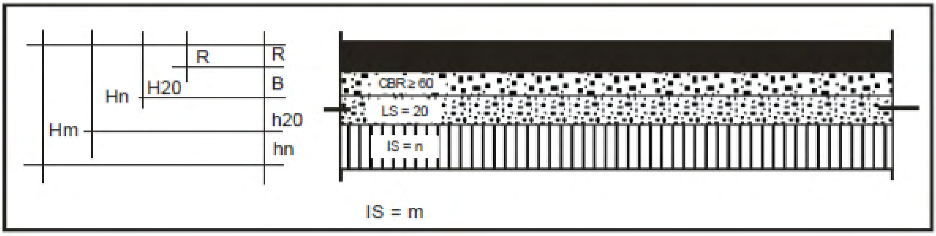



Figura 5 – Esquema ilustrativo das camadas e suas simbologias.

Fonte: DNIT, 2006.

Para calcular a espessura de cada camada utiliza-se as inequações 1, 2 e 3:

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20} \quad (1)$$

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_{SB} \geq H_n \quad (2)$$

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{SB} \times K_{SB} + h_n \times K_{REF} \geq H_m \quad (3)$$

A simbologia K, representa o coeficiente de equivalência estrutural, determinado de acordo com o material a ser utilizado.

## 1.8 Defeitos de Superfície

A ação da água e a variação de temperatura tornam a mistura asfáltica mais suscetível a trincas e à desagregação. Uma vez iniciado, o trincamento progride em área e nível de criticidade, resultando em desintegração, arrancamento de placas e formação de panelas.

Além dos danos superficiais, as trincas permitem a entrada de água no interior do pavimento, provocando a redução da resistência ao cisalhamento e o aumento da velocidade de deformação. As cargas de tráfego também são responsáveis pela indução de tensões na estrutura do pavimento, assim, com a ação repetida, há fadiga e deformação permanente das camadas (DNIT, 2005).

Os defeitos de superfície influem na vida útil do pavimento, e podem ser percebidos de forma precoce, quando relativo a erros de projeto ou execução, ou então a médio prazo, por tráfego e intempéries (BERNUCCI et al., 2006).

## 2 I METODOLOGIA

### 2.1 Caracterização da Via Estudada

A Avenida Alberto Diniz é compreendida entre a Avenida Imigrantes e a Rua Itapechinga, e a partir desta nomeada como Rodovia Alkindar Monteiro Junqueira – SP 063, sendo caracterizada como via de fluxo rápido[2], conforme designação no Plano de Mobilidade Urbana (2017) do município de Bragança Paulista. A via em questão tem grande influência na região, localizando-se próxima a áreas de potencial expansão, além conectar cidades importantes no contexto regional, como Campinas, Itatiba e Jundiaí.

Na Lei Municipal 3145/98, contém a previsão de duplicação da Avenida Alberto Diniz, porém não há registro da data de finalização desta obra. Ainda, de acordo com um estudo de contagem realizado em 2012, pela Secretaria Estadual de Transportes e Logística, no Km 43 da SP 063, indicou-se um VDM de 11.051 veículos, conferindo um tráfego do tipo muito pesado. a figura 6 mostra a via em estudo.




Figura 6 – Visão de satélite da via estudada.

Fonte: Google Maps, 2019.

### 2.2 Marshall

O ensaio de Marshall é utilizado para a determinação do teor ótimo de ligante asfáltico, garantindo a obtenção de uma pavimentação resistente a ruptura, deformação e deslocamento.

Neste ensaio foi testado o material asfáltico pré-misturado a frio, obtendo resultados de sua fluência e estabilidade, a fim de verificar a possibilidade de adoção deste, como alternativa para a pavimentação ideal da Rodovia estudada.

2 Vias de Fluxo Rápido ou Vias Expressas: De acordo com a classificação DETRAN, possuem trânsito livre, sem interseções e acessibilidade direta ao lotes, e sem travessia de pedestres em nível.

Para o ensaio foram confeccionados 3 corpos de prova para cada número de golpes testado, sendo 50, 60 e 75 golpes, seguindo o Método de Ensaio DNER - ME 107/94.

Durante a confecção dos corpos de prova, a mistura de asfalto pronto foi acomodada no molde de compactação com 10 golpes vigorosos de espátula no centro da massa. Nestas condições, moldou-se o corpo de prova aplicando sobre o material 50 golpes de soquete, após, inverteu-se o anel inferior, aplicando o mesmo número de golpes na camada inferior. Este procedimento foi seguido para moldar os demais corpos de prova, aplicando 60 e 70 golpes. As figuras 7 e 8 mostram os equipamentos utilizados.

Os corpos de prova foram extraídos do molde, sendo verificada a altura do corpo, a qual deve ter no mínimo 63,5 mm +\- 1,3 mm, e por fim, todos foram medidos com paquímetro e pesados e identificados, separando-os por amostras, de acordo com o número de golpes.



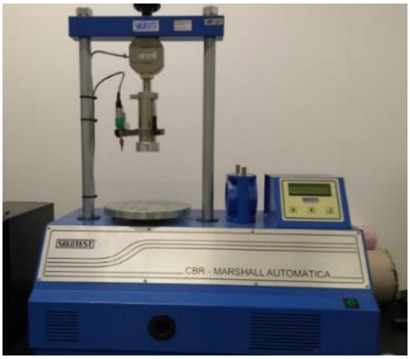



Figura 7 e 8 – Molde, base de compactação e soquete mecânico, e equipamento Marshall e CBR com prensa mecânica e medidor de fluência.

Fonte: Próprio autor.

A figura 9 mostra os corpos de prova utilizados.

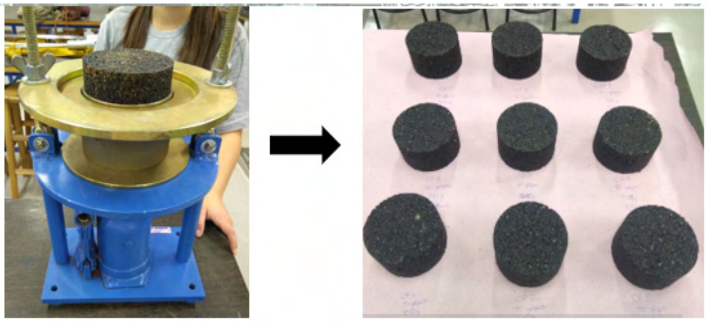


Figura 9 – Processo de extração dos corpos de prova.

Fonte: Próprio autor.

Cada amostra foi submetida a compressão através da prensa mecânica e, com o extensômetro foi medida a fluência do material, observado até o seu rompimento. Finalizado os ensaios, os valores de estabilidade foram corrigidos utilizando o fator de multiplicação do método DNER – ME 107/94

A tabela 1 mostra as características dos corpos de prova e a estabilidade corrigida.

| Corpo de Prova | Peso (g) | Espessura (mm) | Fluência (mm) | Estabilidade (Kgf) | Fator de Correção | Estabilidade Corrigida (Kgf) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 01 | 1000 | 59,5 | 2,88 | 173 | 1,11 | 192,03 |
| 02 | 1055 | 63,5 | 2,90 | 192 | 1,00 | 192,00 |
| 03 | 1050 | 63,0 | 2,96 | 198 | 1,01 | 199,08 |
| 04 | 935 | 55,0 | 2,48 | 174 | 1,27 | 220,98 |
| 05 | 1025 | 60,0 | 2,95 | 221 | 1,10 | 243,10 |
| 06 | 990 | 58,0 | 2,80 | 210 | 1,16 | 243,60 |
| 07 | 970 | 56,0 | 2,94 | 224 | 1,23 | 275,52 |
| 08 | 1015 | 59,5 | 3,20 | 240 | 1,11 | 266,40 |
| 09 | 1020 | 59,5 | 2,91 | 225 | 1,11 | 249,75 |

Tabela 1 – Características dos corpos de prova e estabilidade corrigida.

Fonte: Próprio autor

## 2.3 Índice de Suporte Califórnia

O Índice de Suporte Califórnia, mais conhecido como CBR (sigla em inglês), é um ensaio feito em laboratório por meio de amostras de solo indeformado. Este tipo de ensaio mostra a resistência do solo com relação a penetração, determina sua capacidade para suportar a implantação de uma pavimentação, conforme manual do DNIT.

O solo coletado para realização dos ensaios foi obtido na margem direita da rodovia, sentido Itatiba, próximo ao Condomínio Residencial Vale das Águas, a uma profundidade de aproximadamente 1 m, sendo retirados cerca de 36 Kg de amostra, a qual foi envolta em

material plástico, evitando perda de umidade para o meio.

Para o ensaio, foram confeccionados 3 corpos de prova, cada qual com um teor de umidade, a fim de obter a curva indicativa de umidade ótima.

Na preparação da amostra utilizada em cada um dos corpos de prova, foram separados 6 Kg de solo seco ao ar, destorroado e passado pela peneira de 4,75 mm de abertura. Para cada amostra foi adicionada água nas seguintes proporções: 15, 20 e 25%. A partir disto, o material foi dividido em 5 partes, referentes à quantidade de camadas a serem compactadas, como mostrado na figura 10.



Figura 10 – Processo de preparação do solo úmido e partição.

Fonte: Próprio autor.

Para a moldagem do corpo de prova, uma parte do material foi depositado em um molde cilíndrico metálico, sendo aplicado 12 golpes de soquete, perpendicular e distribuídos uniformemente sobre a superfície, procedeu-se com uma ligeira escarificação da camada subjacente, repetindo o processo de compactação para cada camada adicionada, totalizando 5.

Com a finalização do processo de compactação, o cilindro complementar é removido, sendo o material sobressalente rasado com o auxílio de uma régua rígida biselada, com isso, o solo moldado é invertido, reposicionado no cilindro e pesado, segundo mostram as figuras 11 e 12.

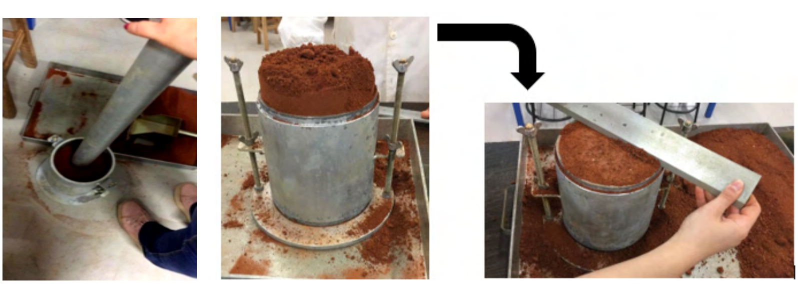


Figura 11 e 12 – Compactação, remoção do cilindro e amassamento do corpo de prova.

Fonte: Próprio autor.

Do material excedente da moldagem de cada corpo, retirou-se uma amostra de 100g, para a determinação do teor de umidade. A amostra úmida foi pesada e, posteriormente seca a 250 °C, e após seco, foi pesado novamente. Assim, através das seguintes equações determinou-se a massa específica aparente seca e o teor de umidade compactado dos solos de cada amostra, cuja equação para cálculo é a 4.

$$\mu_h = \frac{P'_h}{V} \quad (4)$$

$$\mu_s = \mu_h \times \frac{100}{100+h}$$

$$h = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

Em que::

$\mu_h$ - Massa específica aparente úmida;

$P'_h$ – Massa do solo úmido compactado;

$V$ – Volume do cilindro;

$P_h$ – Massa do material úmido;

$P_s$- Massa do material seco.

Para o início do processo de expansão, sob o corpo de prova, foi posicionado o prato perfurado e sobre ele, dois discos anelares bipartidos com peso de 2,270Kg cada, de modo a reproduzir a sobrecarga de um pavimento. Feito isso, o molde e os pesos foram postos em imersão em um recipiente preenchido por água.

Ao final do período de embebição – 4 dias, o molde é retirado da imersão, deixando a água escoar por 15 minutos antes de dar início ao ensaio de CBR.

Com os corpos de prova prontos para o ensaio, posiciona-se novamente os pesos sobre a amostra, levando o conjunto à prensa automática, que deve estar com os extensômetros de penetração e pressão que devem estar zerados. Após realizadas as respectivas marcações de pressão aplicada a cada penetração, calcula-se o índice de CBR pela razão entre pressão aplicada nas penetrações de 2,54 mm e 5,08 mm, e pressão padrão, sendo considerado como resultado final aquele que apresentar maior valor. A equação 5 é utilizada para este cálculo.

$$CBR\ (\%) = \frac{Pressão\ calculada}{Pressão\ padrão} \times 100 \quad (5)$$

## 2.4 DCP

O ensaio de compactação através do cone de penetração é realizado *in situ* tendo uma representação fiel do estado real em que a via se encontra. Apesar da análise por camada, o ensaio é do tipo semi-destrutivo, uma vez que a estrutura do pavimento é praticamente inalterada com a realização do teste (JUNIOR[3] et al., 2005 apud MELHORIA, 2017).

O valor de DCP é dado em função da resistência do material à penetração da ponta

3 MELHORIA no Controle de Compactação de Valas dos Contratos Sourcing e Jica na UGR Bragantina. Relatório de Descrição da Prática de Gestão. Programa Melhores Práticas, 2017. 10 p.

cônica do aparelho, o qual origina um índice de resistência à penetração dado em mm/golpe. Com isso, é possível a elaboração gráfica dos resultados obtidos, a qual indica que quanto maior a inclinação da curva, menor é a resistência da camada.

De acordo com o determinado pela *American Association of State Highway and Trasportantion Officials* (AASHTO), pode-se correlacionar o resultado do DCP com o CBR, como mostrado na equação 6.:

$$DCP = \frac{Penetração\ (mm)}{Número\ de\ golpes} \qquad CBR = \frac{292}{DCP^{1,12}} \quad (6)$$

A dinâmica do ensaio consistiu em posicionar o aparelho e fazer o registro da penetração inicial ao solo com o peso próprio do equipamento. Então, inicia-se a liberação do peso em queda livre, após a elevação do martelo até o limite de altura, e anota-se a penetração a cada dez golpes, sucessivamente até completar a profundidade de um metro, como mostrado na figura 13.

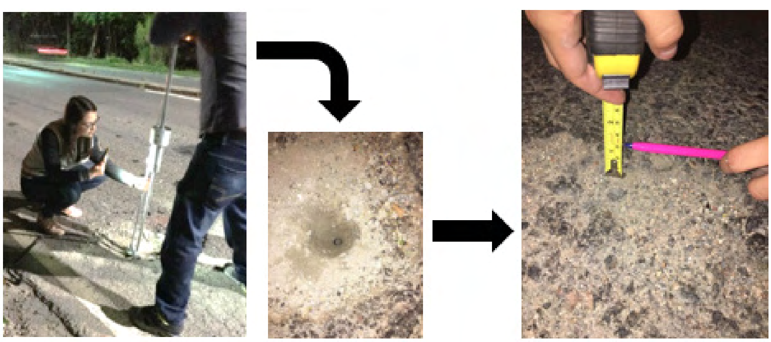


Figura 13 – Realização do ensaio de DCP e verificação da espessura do revestimento.

Fonte: Próprio autor.

## 2.5 Levantamento dos Defeitos de Superfície da Via

Para a classificação dos defeitos, utiliza-se como referência a norma DNIT 005/2003, nela, os tipos de defeitos catalogados e que são considerados para cálculo de indicador de qualidade da superfície do pavimento são: fendas (F); afundamentos (A); corrugação e ondulações transversais (O); exsudação (EX); desgaste ou desagregação (D); panela ou buraco (P); e remendos (R).

## 3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 *Marshall*

Considerando os resultados, é possível afirmar que o aumento do número de golpes é proporcional ao aumento da resistência à compressão radial (estabilidade), conforme é visto no gráfico da figura 14, em que foi considerada a estabilidade média dos corpos de prova por golpe.

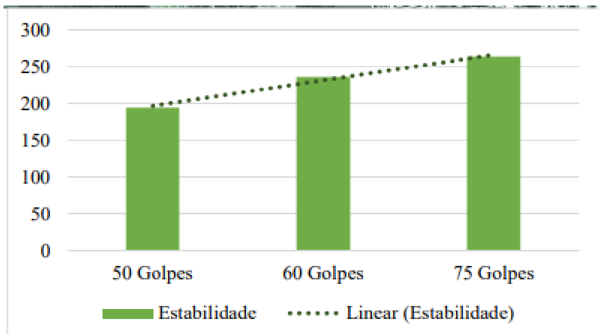



Figura 14 – Gráfico estabilidade *versus* golpes.

Fonte: Próprio autor.

### 3.2 Índice de Suporte Califórnia

As cargas aplicadas pelo equipamento provocam encurtamentos diametrais, os quais são medidos através da leitura do extensômetro. A tabela abaixo mostra os resultados de penetração obtidos em cada um dos três ensaios, bem como a determinação do CBR, de acordo com as penetrações padrões em 2,54 mm e 5,08 mm, segundo a tabela 2.

| Leitura do extensômetro (mm) | Pressão padrão (kgf/mm²) | Molde 1 | | Molde 2 | | Molde 3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Pressão Calculada (kgf/mm²) | CBR (%) | Pressão Calculada (kgf/mm²) | CBR (%) | Pressão Calculada (kgf/mm²) | CBR (%) |
| 0,63 | - | 51,00 | - | 197,00 | - | 76,00 | - |
| 1,27 | - | 101,00 | - | 233,00 | - | 78,00 | - |
| 1,90 | - | 159,00 | - | 277,00 | - | 111,00 | - |
| 2,54 | 703,10 | 216,00 | 3,07 | 331,00 | 4,71 | 156,00 | 2,22 |
| 3,17 | - | 276,00 | - | 390,00 | - | 201,00 | - |
| 3,81 | - | 341,00 | - | 452,00 | - | 241,00 | - |
| 4,44 | - | 393,00 | - | 513,00 | - | 283,00 | - |
| 5,08 | 1054,60 | 438,00 | 4,15 | 571,00 | 5,41 | 346,00 | 3,28 |
| 6,35 | - | 536,00 | - | 723,00 | - | 508,00 | - |
| 7,62 | - | 653,00 | - | 914,00 | - | 736,00 | - |
| 8,89 | - | 754,00 | - | 1111,00 | - | 1026,00 | - |
| 10,16 | - | 896,00 | - | 1359,00 | - | 1544,00 | - |
| 11,43 | - | 1047,00 | - | 1670,00 | - | 2316,00 | - |
| 12,70 | - | 1195,00 | - | 2158,00 | - | 2765,00 | - |

Tabela 2 – Resultados de encurtamento com base na pressão aplicada pela prensa CBR.

Fonte: Próprio autor.

Deste modo, considerando os teores de umidade utilizados em cada moldagem, bem como as massas específicas secas de cada amostra e o CBR de maior valor, é possível verificar no gráfico abaixo a associação entre o teor de umidade ótima e o ganho de resistência do solo.

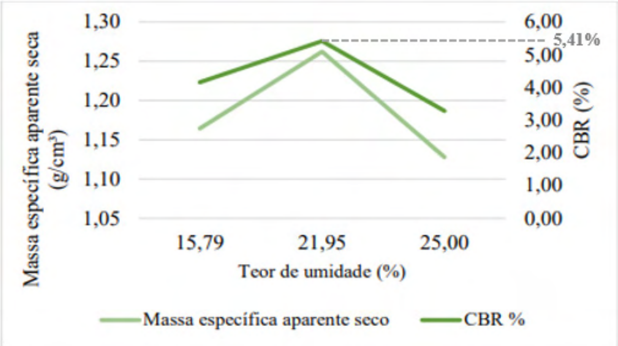



Figura 15 – Gráfico de relação entre teor de umidade e CBR.

Fonte: Próprio autor.

### 3.3 DCP

Por conveniência, as anotações de penetração foram tidas a cada 10 golpes, sendo possível verificar que, a partir do momento em que o equipamento atingiu a camada do solo

compactada, houve um aumento progressivo na penetração da haste, ou seja, inicialmente a profundidade atingida por sequência de golpes alterava a cada 3cm, posteriormente a variação passou a ser abrupta.

Diante dos resultados de CBR e da variação da curva, é possível diferenciar as camadas com presença de BGS (31,50cm) e as camadas componentes exclusivamente de solo (50,50cm), não sendo possível distinguir entre reforço e subleito, como mostra a figura 16.

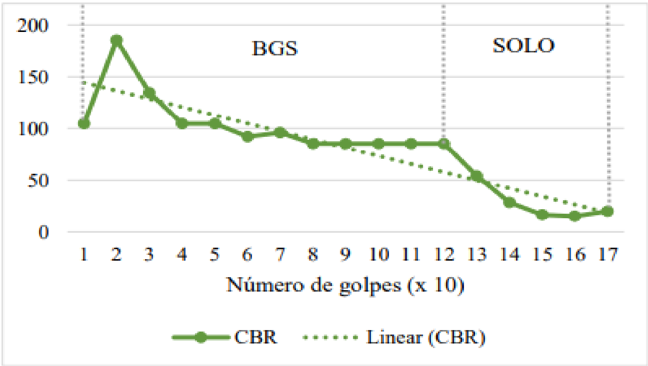



Figura 16 – Gráfico de CBR tido a partir do ensaio de DCP.

Fonte: Próprio autor.

## 3.4 Defeitos de Superfície

Partindo da análise visual ao longo da Avenida, foram constatadas diversas patologias na camada asfáltica, em ambas faixas. Considerando os danos ocasionados, tanto superficial como estrutural, há a manifestação de afundamentos e distorções, promovendo a irregularidade longitudinal. Verificou-se frequentes afundamentos de trilha de roda, trincas do tipo “couro de jacaré”, “panelas” e solapamento, resultantes da ação da água e pressão sob as trincas.




Figura 17 – Registros de patologias na camada asfáltica da Avenida Alberto Diniz.

Fonte: Próprio autor.

## 3.5 Cálculo da Espessura por Camada

Para o cálculo da espessura mínima por camada foram considerados os CBRs ideais para cada uma delas, sendo adotado 20 % para sub-base ($H_{20}$), 10% para reforço ($H_n$) e 5% para subleito ($H_m$), sendo o último o CBR do solo estudado, em teor de umidade ótima.

Para os coeficientes de equivalência estrutural (K) foram adotados 1,00 (material granular) para base, sub-base e subleito, e 1,40 para o revestimento.

Assim, considerando que o revestimento, de acordo com a classificação da via e o N, deverá ter espessura mínima de 10cm, e ainda, com a utilização do ábaco de determinação de espessura do pavimento, disponibilizado pelo DNIT, através das inequações e determinando dimensões mínima de 15cm e máxima de 20cm (ideal para compactação), foram obtidas as seguintes espessuras ideais para o projeto: Base = 20cm; Sub-base = 20cm e Subleito = 16cm.

## 4 I CONCLUSÃO

Sabendo que para mistura asfáltica usinada pronta a frio a estabilidade mínima exigida é de 250 Kgf para compactação de 75 golpes, e a fluência deve ser de 2 a 4,5 mm, conforme norma DNIT 153/2010, conclui-se através de Marshall que aproximadamente 67% dos corpos de prova produzidos sob esta energia de compactação obtiveram resultado satisfatório para estabilidade, e todos possuem boa fluência. Já em relação aos resultados obtidos aos 50 golpes, 100% dos corpos de prova atingiram estabilidade e fluência mínima. Desta forma, a utilização da mistura asfáltica usinada pronta se torna viável, tendo atingido os resultados esperados.

Considerando as camadas subjacentes ao revestimento, a média dos CBRs obtidos pelo DCP na pavimentação existente, indica que as camadas possuem resistência adequada, conforme estabelecido pelo DNIT. Assim, como o solo que compõe o subleito,

atingiu CBR de 5,41%, também suficiente.

No entanto, as espessuras das camadas do pavimento existente não condizem com o mínimo necessário para suportar o fluxo local. A espessura total da base e da sub-base existentes é de 31,50cm, ou seja, inferior à espessura ideal para este tipo de pavimento, a qual, de acordo com os cálculos, deveria ser de 40,00cm, além disso, a espessura do revestimento existente de 3cm, também é menor que o mínimo exigido para fluxo, que deveria ser de 10cm.

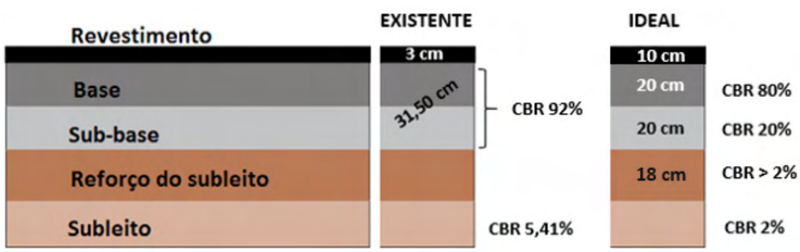



Figura 18 – Comparativo de camadas existentes (ensaios) *versus* ideais (DNIT).

Fonte: Próprio autor.

## REFERÊNCIAS


BERNUCCI, Liedi Bariani; et al. **Pavimentação Asfáltica**: Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobrás: Abeda, 2006. 504 p.

BRAGANÇA PAULISTA. Lei (1998). **Lei Ordinária 3145 de 23 de dezembro de 1998**. Altera o anexo I da Lei 3011/97, disponível em: https://leismunicipais.com.br/a/sp/b/ braganca-paulista/lei-ordinaria/1998/315/3145/lei-ordinaria-n-3145-1998-altera-o-anexo-i-da-lei-n-3011-de-1-de-julho-de-1997-que-aprovou-o-plano-plurianual-para-o-quadrienio-1998-2001?q=3145, acesso em 12/11/2019.

DIAS, Diego Alves; et al. **Classificação das Vias**. 2019. 45f. Trabalho Acadêmico – Engenharia Civil, Universidade de Marília, Marília, 2019, disponível em: www.projeta.com.br/imagens.../files/.../2016%20 PAVII%20-%20IP2%20-%20B.pptx>, acesso em 7/5/2019.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 107/94**: Mistura betuminosa a frio, com emulsão asfáltica - ensaio Marshall. IPR, 1994. 9 p.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT 005/2003**: Defeitos nos Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos - Terminologia. Rio de Janeiro, 2003. 12 p.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT 153/2010**: Pavimentação asfáltica – Pré misturado a frio – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010. 11 p.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT 172/2016-ME**: Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia. Brasília, 2016. 17 p.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Pavimentação**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2006. 274 p.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005. 310 p.

KNAPPETT, J. A. e CRAIG, R. F. Craig. **Mecânica dos Solos**. 8. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2018.

MARQUES, Gabriele Born. **Análise de Pavimento Flexível**: Estudo de um Trecho Crítico na Rodovia ERS-421. 2014, 82 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2014.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos,2006. 367 p.

SENÇO, Wlastermiler. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 2.ed. São Paulo: Editora Pini Ltda, 2008. 671 p.

UFRGS- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Avaliação do Tráfego**. 21 p, disponível em: http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/420_08-avaliacao_de_trafego_e_calculo_do_n.pdf, acesso em 4/5/2019.

# CAPÍTULO 14

## ANÁLISE DE GESTÃO DE OBRA E IMPACTO DE CIRCUNVIZINHANÇA

**Ana Carolina Marques Monteiro**
Universidade São Francisco
Campinas-SP
https://orcid.org/ 0000-0002-3939-9245

**Letícia Toniato Andrade**
Universidade São Francisco
Campinas-SP
https://orcid.org/0000-0003-2427-9379

**Laira Lúcia Damasceno de Oliveira**
Universidade São Francisco
Campinas-SP
http://lattes.cnpq.br/7923496512252395
https://orcid.org/0000-0001-6804-0082

**Renata Lima Moretto**
Universidade São Francisco
Campinas-SP
http://lattes.cnpq.br/9818772550330671
https://orcid.org/0000-0001-7431-1651

**RESUMO**. Conforme o mercado da construção civil tem se atualizado, onde questões sociais e políticas se fazem presentes, surge o estudo de impacto de vizinhança (EIV), que tem por intuito conciliar a implantação de um empreendimento com o bem-estar social da região. Com isso, para obter sucesso na execução de um empreendimento, se faz necessária a aplicação de uma gestão de obra que busca atender, no desenvolvimento do projeto, o planejamento dos aspectos escopo, prazo e custo. Desta maneira, o objetivo deste artigo é apresentar uma análise realizada da gestão de obra junto ao impacto de circunvizinhança que ocorre com a execução de uma obra, utilizando como estudo de caso os aeroportos da Copa do Mundo de 2014. Para isso, foi desenvolvida uma metodologia que utiliza indicadores, determinados de acordo com a regulamentação vigente do EIV, Lei 10.257/2001, e conceitos de bibliografias consolidadas, como parâmetros de pontuações.

**PALAVRAS-CHAVE**: Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV), Gerenciamento da construção, Copa do Mundo 2014.

## ANALYSIS OF SITE MANAGEMENT AND SURROUNDINGS IMPACT

**ABSTRACT**. As the civil construction market has been updated, where social and political issues are made present, the Neighborhood Impact Study (NIS) arises, which aims to reconcile the implementation of a project with the social welfare of the region. Thus, in order to achieve success in the execution of a project, it is necessary to apply construction management that seeks to meet, in the development of the project, the planning aspects of scope, time, and cost. Therefore, the goal of this article is to present an analysis of the construction management within the surroundings impact that occurs with the execution of a construction project, using as a case study the 2014 World Cup airports. For this purpose, a methodology was developed that uses indicators, determined according to the current regulations of the NIS, Law 10.257/2001, and concepts from consolidated bibliographies, as scoring parameters.

**KEYWORDS:** Neighborhood Impact Study (NIS), Construction Management, World Cup 2014.

## 1 I INTRODUÇÃO

Em decorrência dos novos conceitos de mercado, onde a construção civil está cada vez mais relacionada a questões de caráter social e político, se faz necessário o estudo de como gerir uma obra de forma estratégica considerando os fatores de viabilidade econômica, social e ambiental de um empreendimento.

Para isso, a gestão de obra deve ser caracterizada como um conjunto de estratégias que, sendo apropriadamente utilizadas e aplicadas, têm como consequência uma grande eficácia do resultado. Silva (2011), afirma que o planejamento é uma ferramenta indispensável dentro da realização do gerenciamento, cumprindo o papel de prever situações que envolvem o desenvolvimento do projeto. Completa ainda que o ato de planejar envolve uma série de processos e ações que devem ser executados em consenso, a fim de alcançar o objetivo estabelecido.

Conforme salienta Assumpção (1996), em grande parte dos casos, o objetivo do planejamento não se encontra somente vinculado às questões físicas da construção, mas em grande parte voltado para busca de táticas e estratégias que viabilizem os resultados do empreendimento.

Com isso, Corrêa (2009), declara que uma das possíveis análises que se faz a respeito do espaço urbano está relacionada às conexões de estrutura social, processos e funções urbanas que este pode oferecer, sendo fatores determinantes no impacto que a construção gerará na região onde será implantada, denominado de impacto de circunvizinhança.

Logo, pode-se observar que a ausência de uma gestão de obra poderá acarretar diversos problemas que vão muito além dos desperdícios da construção. A falta de planejamento e de estudos prévios sobre a viabilidade de um empreendimento terá como consequência, em seu pior cenário, uma obra que se torne insustentável, onde se teve um grande valor investido, mas que há pouca utilização agregada.

Dessa maneira, revela-se a importância da aplicação de uma gestão de obra vinculada ao processo de planejamento, que analisa, principalmente, os fatores que serão gerados com a implantação do empreendimento, no que diz respeito ao equilíbrio entre a construção e o bem-estar comum.

Neste contexto, o presente estudo tem por objetivo apresentar uma análise da gestão de obra junto ao impacto de circunvizinhança que ocorre na região com a realização de um empreendimento. Para isso, foi realizado um levantamento bibliográfico em acervo nacional e internacional, que possibilitou a determinação de indicadores que foram aplicados para a

análise das obras dos aeroportos que foram executadas para a Copa do Mundo de 2014, utilizadas como estudo de caso.

## 2 I REFERENCIAL TEÓRICO

A gestão de obra e o estudo de impacto de circunvizinhança são fundamentais para compreender o papel que um empreendimento exerce na área onde será implantado. Assim se faz necessário a aplicação de ambos no desenvolvimento do projeto.

### 2.1 Gestão de obra

Conforme aponta o *Project Management Institute* (PMI, 2013), o gerenciamento é responsável pela aplicação do conhecimento nos processos da gestão, a fim de cumprir os requisitos determinados pela mesma. Os processos da gestão, por sua vez, se dividem em cinco grupos, sendo eles Iniciação, Planejamento, Execução, Monitoramento e Encerramento.

O mesmo estudo revela que os projetos são elaborados conforme os posicionamentos estratégicos da organização, com o objetivo de alcançar os resultados almejados. Compõem os quesitos estratégicos as questões de demanda de mercado, necessidade estratégica, necessidade social, consideração ambiental, avanço tecnológico e requisito legal (PMI, 2013).

Lemos (2007), afirma que o planejamento estratégico aplicado ao gerenciamento torna-se um instrumento importante para que se tenha vantagens dentro de um mercado competitivo, sendo que no atual cenário globalizado a falta deste processo gera dificuldades no controle da qualidade dos resultados esperados.

Dentro da mesma premissa, Santos e Ferreira (2017), declaram que as metodologias de gerenciamento implementadas de maneira eficiente e estratégica trazem uma melhora efetiva dentro da gestão organizacional, uma vez que possibilitam a avaliação das dificuldades e qualidades do planejamento interno e geram vantagens na competitividade de mercado.

Segundo Moreira (2017), compete ao gerenciamento três aspectos de extrema relevância no desenvolvimento do projeto: o escopo, responsável por atender as demandas e necessidades do cliente; o prazo, que se refere ao espaço de tempo fornecido para o desenvolvimento do projeto; e o custo, determinado pelo orçamento do projeto. Afirma ainda, que as decisões tomadas em relação às áreas anteriormente citadas influenciam diretamente na qualidade das execuções e resultados do projeto.

O *Project Management Institute* (PMI, 2013) agrega a essas três áreas uma sequência de atividades que devem ser executadas a fim de obter como resultado o objetivo proposto, conforme disposto na Figura 1.




Figura 1 – Fluxograma das atividades referentes ao escopo, prazo e custo.

Fonte: Próprio Autor.

De acordo com Sabino (2006), foi observado no ramo da construção civil que, quando há o desenvolvimento de um estudo preliminar complexo do projeto antes da execução, existe a probabilidade de identificar e prever problemáticas que antes eram solucionadas somente no decorrer da obra, o que gerava uma série de gastos e desperdícios.

Gomes (2007), ressalta que a qualidade na execução de uma obra, não somente nos aspectos físicos, mas em todas as partes que dizem respeito ao seu desenvolvimento, é fundamental para que se obtenha como resultado o investimento correto dos recursos e a satisfação das demandas solicitadas.

A partir deste contexto, pode-se concluir que o planejamento detalhado, o controle dos processos e a organização das etapas se fazem fundamentais dentro do processo de um gerenciamento eficiente, pois além de serem indispensáveis para obter a qualidade desejada nos resultados, também se mostram importantes para evitar imprevistos no decorrer do projeto.

## 2.2 Impacto de Circunvizinhança

Marques (2010), aponta que, a necessidade de pautar a respeito dos conflitos gerados pela criação de um grande empreendimento foi surgindo juntamente com a urbanização e o desenvolvimento das cidades, quando a comunidade das edificações vizinhas começa a ser afetada.

Surge então, o Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV) previsto no Art. 4º, VI, da Lei 10.257/2001. Esta Lei, denominada como Estatuto da Cidade, tem o intuito de estabelecer

as normas de ordem pública e de interesse social, que assumem o uso das propriedades urbanas em benefício do bem comum, segurança e bem-estar da população, em consenso da harmonia ambiental.

O Estudo de Impacto de Vizinhança foi originado do Capítulo II sobre Política Urbana, do artigo 182 da Constituição Federal (1988), que conceitua que:

> “A política de desenvolvimento urbano, executada pelo poder público municipal, conforme diretrizes gerais fixadas em lei, tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes. § 1º O plano diretor, aprovado pela Câmara Municipal, obrigatório para cidades com mais de vinte mil habitantes, é o instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana.”

e também que:

> “A lei municipal definirá os empreendimentos e atividades privados ou públicos em área urbana que dependerão de elaboração de Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV) para obter as licenças ou autorizações de construção, ampliação ou funcionamento, a cargo do Poder Público Municipal.“

Entretanto, o Estatuto da Cidade é apenas um conjunto de orientações para ajudar a conduzir os municípios na elaboração de suas próprias leis específicas, não sendo uma lei autoaplicável.

O Estudo de Impacto de Vizinhança tem como objetivo considerar todos os efeitos de um grande empreendimento, positivos e negativos. Chaminé (2010), concorda que este estudo deve compreender diretrizes como a garantia do direito à cidade sustentável, planejamento das cidades, gestão democrática e desenvolvimento das funções sociais nos municípios, mostrando a grande importância de haver um ponto de equilíbrio entre os âmbitos social, econômico e ambiental.

Ainda de acordo com a Lei nº 10.257, art. 37 evidencia-se que o EIV deverá ser executado de maneira a observar a atuação do empreendimento acerca da qualidade de vida dos habitantes residentes nas proximidades. Para isso, podem ser analisados os seguintes aspectos: adensamento populacional, equipamentos urbanos e comunitários, uso e ocupação do solo, valorização imobiliária, geração de tráfego e demanda por transporte público, ventilação e iluminação e paisagem urbana e patrimônio natural e cultural. Para análise de tais aspectos, é muito comum e eficaz a utilização de indicadores de desenvolvimento, antes e após a implementação do empreendimento, de acordo com Freire (2015).

Silva (2016), ressalta o urbanismo como foco do Estudo de Impacto de Vizinhança na função social da cidade e da propriedade urbana, tendo como propósito mediar os interesses de todas as partes envolvidas: os empreendedores urbanos, os gestores públicos e os cidadãos.

## 2.3 Copa do Mundo 2014 no Brasil

A Copa do Mundo é um evento organizado pela Federação Internacional de Futebol (FIFA), realizado a cada quatro anos em um país previamente estabelecido, designado país-sede. O Comitê Olímpico Internacional (COI), a partir de 2002, estabeleceu que deveriam ser criados legados positivos que beneficiassem os países sede dos jogos olímpicos, o que também se aplica aos países sede das Copas do Mundo.

De acordo com Gratton e Preuss (2008), existem três motivos principais para a criação do legado. O primeiro tem o intuito de fazer com que a população da nação anfitriã tenha evidências de que o evento teve efeitos positivos no país. O segundo é a maneira de justificar o uso dos recursos públicos para fins permanentes ou infraestrutura temporária desses eventos. E o terceiro cria um efeito positivo que motiva outras nações a desejarem participar de eventos futuros.

Ainda segundo Gratton e Preuss (2008), o Estado tem o intuito de realizar a copa do mundo e toda sua estrutura dispondo de verbas públicas almejando obter retribuições financeiras a seu favor. Não há clareza se este retorno realmente acontecerá ou se acontecerá da forma esperada, pois há uma grande dificuldade de avaliar um legado econômico logo após a realização do evento, necessitando de anos para sua aferição.

O sorteio para a Copa do Mundo FIFA de 2014 ocorreu em outubro de 2007, onde formalizou-se o Brasil como país-sede. A partir deste momento, os governantes brasileiros assumiram a responsabilidade de realizar este evento e se comprometeram a executar as melhorias necessárias para a conservação do legado que seria proporcionado ao país, com total transparência para a população.

Para a definição das cidades sede, foram utilizados critérios técnicos baseados nas estruturas apresentadas pelas próprias cidades, como estádios, sistema de transporte urbano, segurança pública, rede de hotelaria, aeroportos e lazer. As seguintes cidades foram escolhidas: Belo Horizonte (MG), Brasília (DF), Cuiabá (MT), Curitiba (PR), Fortaleza (CE), Manaus (AM), Natal (RN), Porto Alegre (RS), Recife (PE), Rio de Janeiro (RJ), Salvador (BA) e São Paulo (SP).

De acordo com os dados divulgados pela Secretaria Especial do Esporte, consta na Matriz de Responsabilidade (documento assinado pelos governos federal, estadual e municipal das 12 cidades sede) que os investimentos para os seguintes setores resultam em: mobilidade urbana R$ 8,9 bilhões, aeroportos R$ 8,4 bilhões, portos R$ 700 milhões, estádios $ 7,6 bilhões, estruturas, equipamentos e capacitação em segurança R$ 1,9 bilhão, telecomunicações R$ 400 milhões e turismo R$ 200 milhões.

Do valor total previsto na Matriz de Responsabilidades, que contempla todas as áreas de investimento, R$ 8,7 bilhões são de recursos públicos, sendo R$ 6,5 bilhões do orçamento federal e R$ 7,3 bilhões das receitas locais, e R$ 5,6 bilhões de recursos

privados.

Na Figura 2, estão representados os valores de custo planejado e custo real das obras dos aeroportos que foram executadas em cinco cidades sede da Copa do Mundo.

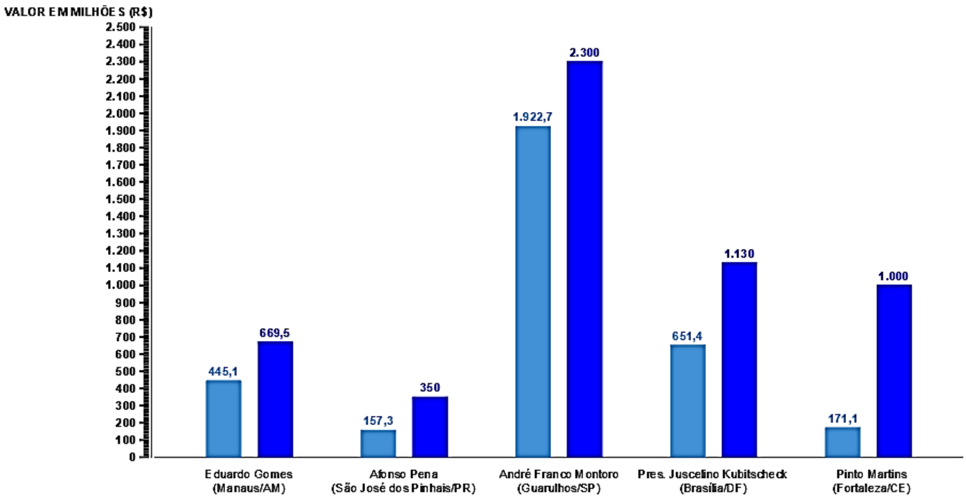



Figura 2 – Orçamento das Obras de Aeroportos para a Copa do Mundo 2014.

Fonte: Adaptado de Matriz de Responsabilidade Consolidada.

Na Tabela 1, estão designadas as datas de término planejado e término real para a conclusão das obras dos aeroportos que foram executadas em cinco cidades sede da Copa do Mundo.

| Aeroporto | Término Planejado | Término Real |
|---|---|---|
| Afonso Pena | Dezembro/2013 | Novembro/2016 |
| André Franco Montoro | Maio/2014 | Novembro/2014 |
| Pres. Jucelino Kubitschek | Dezembro/2013 | Maio/2014 |
| Eduardo Gomes | Dezembro/2013 | Janeiro/2015 |
| Pinto Martins | Dezembro/2013 | Dezembro/2020 |

Tabela 1 – Prazo das Obras de Aeroporto para a Copa do Mundo de 2014.

Fonte: Adaptado de G1.

Na Tabela 2, estão designados os valores dos orçamentos e a quantidade de obras demandadas em cada uma das doze cidades sede da Copa em relação às estruturas de mobilidade urbana, bem como o período previsto para a conclusão das mesmas.

| CIDADE | OBRAS | INVESTIMENTO | CONCLUSÃO |
|---|---|---|---|
| Belo Horizonte | 7 | 1,4 bi | maio/2014 |
| Brasília | 1 | 44,20 mi | maio/2014 |
| Cuiabá | 3 | 1,7 bi | junho/2014 |
| Curitiba | 11 | 466 mi | maio/2014 |
| Fortaleza | 6 | 575 mi | maio/2014 |
| Manaus | - | - | - |
| Natal | 3 | 472 mi | maio/2014 |
| Porto Alegre | 1 | 15,9 mi | abril/2014 |
| Recife | 7 | 890 mi | março/2014 |
| Rio de Janeiro | 3 | 1,8 bi | maio/2014 |
| Salvador | 2 | 19 mi | maio/2014 |
| São Paulo | 1 | 548,5 mi | abril/2014 |

Tabela 2 – Obras de Mobilidade Urbana para a Copa do Mundo de 2014.

Fonte: Adaptado de Globo Esporte.

## 3 I METODOLOGIA

O estudo realizado elaborou uma metodologia que, por meio de indicadores, teve o intuito de analisar o desempenho da gestão de obra junto a análise de impacto de circunvizinhança, gerando pontuações para uma avaliação quantitativa e qualitativa. Dessa maneira, foram realizadas pesquisas bibliográficas como base teórica para a obtenção dos dados e para uma demonstração prática, foram eleitas as obras de cinco aeroportos dentre as que foram executadas para a Copa do Mundo de 2014, utilizadas como estudo de caso.

### 3.1 Indicadores de Gestão de Obra

Os aspectos do gerenciamento que foram considerados são escopo, prazo e custo. A partir dessa premissa, para cada aspecto, foram determinados respectivos indicadores a fim de estipular um parâmetro para análise da gestão dos empreendimentos, que estão apresentadas na Tabela 3 as aplicações de cada indicador e como foram realizados os cálculos para a obtenção das pontuações.

| Aspectos | Indicadores | Aplicações |
|---|---|---|
| Escopo | Valor Agregado (VA) | Percentual entre escopo planejado e executado, sendo calculado pela seguinte fórmula:<br>VA = (Escopo executado / Escopo planejado) x 100 |
| Prazo | Índice de Desempenho de Prazo (IDP) | Relação entre valor agregado e custo real, sendo calculado pela seguinte fórmula:<br>IDC = Valor agregado / Custo real |
| | Desvio de Prazo | Relação entre prazos planejados e executados, sendo calculado pela seguinte fórmula:<br>Desvio de Prazo = (Término real - Término planejado) / Duração planejada |
| Custo | Índice de Desempenho de Custo (IDC) | Relação entre custos planejados e executados, sendo calculado pela seguinte fórmula:<br>IDC = Custo planejado / Custo real |
| | Desvio de Custo | Relação entre custos planejados e executados, sendo calculado pela seguinte fórmula:<br>Desvio de Custo = (Custo real - Custo planejado) / Custo planejado |

Tabela 3 – Aplicação dos Indicadores de Gestão de Obra.

Fonte: Próprio Autor.

## 3.2 Indicadores de Impacto de Circunvizinhança

Em conformidade com a Lei nº 10.257, elucidada no Referencial Teórico, para a análise de Impacto de Circunvizinhança, foram considerados os aspectos que mais se adequaram ao estudo. A partir dessa premissa, para cada aspecto, foram determinados respectivos indicadores a fim de estipular um parâmetro para análise do impacto de circunvizinhança dos empreendimentos. Na Tabela 4, estão apresentadas as aplicações de cada indicador e como serão realizados os cálculos para a obtenção das pontuações.

| Aspectos | Indicadores | Aplicações |
|---|---|---|
| Adensamento urbano | Geração de Emprego | Relação entre a população da cidade com a oportunidade de emprego que o sistema aeroportuário gera, sendo calculado pela seguinte fórmula:<br>GE= (População / Funcionários) x 100 |
| Equipamentos urbanos e comunitários | Estrutura de Acessibilidade | Verificar se o empreendimento contempla as estruturas adequadas para atender as pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida. |
| Uso e ocupação do solo | Plano Diretor Municipal | Verificar se o empreendimento cumpre com as exigências estipuladas pelo Plano Diretor Municipal do Município onde foi implementado. |
| Geração de tráfego e demanda por transporte público | Obras de Mobilidade | Obras de Mobilidade de acesso ao aeroporto. |
| Paisagem urbana e patrimônio natural e cultural | Projetos Sociais Desenvolvidos pelo Aeroporto | Verificar se o empreendimento apresenta algum projeto de apoio a comunidade. |

Tabela 4 – Aplicação dos Indicadores de Impacto de Circunvizinhança.

Fonte: Próprio Autor.

## 3.3 Avaliação de desempenho

Contudo, após a determinação dos indicadores, foi criada uma avaliação quantitativa e qualitativa sobre os dados obtidos, conforme apresentado, respectivamente, nas Tabelas 5 e 6.

| Aspectos | Indicadores | Avaliação | Pontos |
|---|---|---|---|
| Escopo | Valor Agregado (VA) | 100% da execução do escopo | 2 |
| | | 50 a 99% da execução do escopo | 1 |
| | | 0 a 49% da execução do escopo | 0 |
| Prazo | Índice de Desempenho de Prazo (IDP) | IDP >1 projeto adiantado | 2 |
| | | IDP =1 projeto dentro do prazo | 1 |
| | | IDP <1 projeto atrasado | 0 |
| | Desvio de Prazo | Desvio de Prazo <0 projeto adiantado | 2 |
| | | Desvio de Prazo =0 projeto dentro do prazo | 1 |
| | | Desvio de Prazo >0 projeto atrasado | 0 |
| Custo | Índice de Desempenho de Custo (IDC) | IDC >1 projeto abaixo do orçamento | 2 |
| | | IDC = 1 projeto dentro do orçamento | 1 |
| | | IDC < 1 projeto acima do orçamento | 0 |
| | Desvio de Custo | Desvio de Custo <0 projeto abaixo do orçamento | 2 |
| | | Desvio de Custo =0 projeto dentro do orçamento | 1 |
| | | Desvio de Custo >0 projeto acima do orçamento | 0 |

Tabela 5 – Avaliação a partir dos indicadores de Gestão de Obra.

Fonte: Próprio Autor.

| Aspectos | Indicadores | Avaliação | Pontos |
|---|---|---|---|
| Adensamento urbano | Geração de Emprego | GE > 1 Impacto Relevante | 2 |
| | | GE > 0 Impacto Mediano | 1 |
| | | GE = 0 Impacto Irrelevante | 0 |
| Equipamentos urbanos e comunitários | Estrutura de Acessibilidade | Atende | 2 |
| | | Atende Parcialmente | 1 |
| | | Não Atende | 0 |
| Uso e ocupação do solo | Plano Diretor Municipal | Está de Acordo | 2 |
| | | Não está de Acordo | 0 |
| Geração de tráfego e demanda por transporte público | Obras de Mobilidade | Impacto Positivo | 2 |
| | | Impacto pouco efetivo | 1 |
| | | Impacto Negativo | 0 |
| Paisagem urbana e patrimônio natural e cultural | Projetos Sociais Desenvolvidos pelo Aeroporto | Impacto Positivo | 2 |
| | | Impacto pouco efetivo | 1 |
| | | Sem Impacto | 0 |

Tabela 6 – Avaliação a partir dos indicadores de Impacto de Circunvizinhança.

Fonte: Próprio Autor.

## 4 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 7 estão apresentadas as pontuações dos cinco aeroportos que foram

eleitos para o estudo de caso, resumindo a somatória final.

A partir desta avaliação e dos critérios de pontuação utilizados, encontrados, respectivamente, na Tabela 7 e Tabelas 5 e 6, o empreendimento que obteve o melhor resultado foi o aeroporto Afonso Pena. Isso se deve pelo fato de, apesar de não ter atendido os critérios de gestão de obra, no impacto de circunvizinhança analisou-se que o aeroporto gera na região onde foi implantado uma grande rede de empregabilidade, possui na sua estrutura diversos equipamentos de acessibilidade, atende ao plano diretor municipal, executou as obras necessárias para complementar a infraestrutura de acesso ao empreendimento e tem uma boa classificação no projeto Aeroportos Sustentáveis da ANAC.

Em relação à análise da Gestão de Obra, é possível observar a ocorrência de empreendimentos que tiveram pontuações zeradas nos aspectos de prazo e custo.

Baseado no critério de prazo, no Índice de Desempenho de Prazo (IDP), apesar do indicador "Valor Agregado" apontar que um percentual do escopo estava executado dentro do planejado, todas as obras tiveram o término real em datas posteriores ao planejamento, ocasionando um aumento considerável no custo real em relação ao orçamento inicial. Da mesma maneira que o IDP, o Desvio de Prazo foi afetado pelas datas de término das obras terem sido posteriores ao término planejado.

Baseado no critério de custo, no Índice de Desempenho de Custo (IDC) e Desvio de Custo, a baixa pontuação se dá por todas as obras terem o custo real expressivamente acima do custo planejado inicialmente.

| ASPECTOS | INDICADORES | AEROPORTOS | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ANÁLISE GESTÃO DE OBRA | | Eduardo Gomes (Manaus/AM) | Afonso Pena (São José dos Pinhais/PR) | André Franco Montoro (Guarulhos/SP) | Pres. Juscelino Kubitscheck (Brasília/DF) | Pinto Martins (Fortaleza/CE) |
| Escopo | Valor Agregado (VA) | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| Prazo | Índice de Desempenho de Prazo (IDP) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Desvio de Prazo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Custo | Índice de Desempenho de Custo (IDC) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Desvio de Custo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ANÁLISE DE CIRCUNVIZINHANÇA | | | | | | |
| Adensamento urbano | Geração de Emprego | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| Equipamentos urbanos e comunitários | Estrutura de Acessibilidade | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Uso e ocupação do solo | Plano Diretor Municipal | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Geração de tráfego e demanda por transporte público | Obras de Mobilidade | 0 | 2 | 0 | 1 | 2 |
| Paisagem urbana e patrimônio natural e cultural | Projetos Sociais Desenvolvidos pelo Aeroporto | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| TOTAL | | 8 | 9 | 8 | 7 | 7 |

Tabela 7 – Pontuação dos aeroportos.

Fonte: Próprio Autor.

A partir desses dados, conclui-se que as obras executadas nos aeroportos para a Copa do Mundo de 2014 não tiveram uma gestão de obra adequada, uma vez que não foram capazes de atender aos orçamentos e prazos determinados na etapa do planejamento. Dessa maneira, os empreendimentos não tiveram o cumprimento completo do escopo para atender a realização do evento para o qual foram planejadas, possuindo apenas parte da estrutura entregue e continuando a execução da obra posteriormente, gerando gastos adicionais e afetando diretamente o tempo estipulado para o retorno financeiro do empreendimento.

Entretanto, referente ao impacto de circunvizinhança, é possível observar que os empreendimentos tiveram um desempenho satisfatório, visto que suas estruturas foram capazes de atender aos aspectos determinados no estudo realizado. Dado este fator, compreende-se que o escopo dos projetos dos aeroportos para a Copa do Mundo de 2014 foi elaborado de forma a oferecer um funcionamento eficiente e estar em consenso com o bem-estar dos usuários e da comunidade, planejados para atender as demandas do evento e continuidade pós-evento.

## 5 I CONCLUSÃO

O estudo realizado neste trabalho buscou apresentar uma análise da gestão de obra junto ao impacto de circunvizinhança que ocorre com a implantação de uma obra, utilizando como estudo de caso as obras executadas nos aeroportos para a Copa do Mundo de 2014. Contudo, o objetivo desta análise foi evidenciar a importância do planejamento nos processos de gestão de obra, onde as questões de escopo, prazo e custo devem ser respeitadas e atendidas, a fim de obter como resultado o sucesso do empreendimento em consenso com o interesse social.

Portanto, em relação às obras dos aeroportos para a Copa do mundo de 2014, a análise de impacto de circunvizinhança apontou que o escopo do projeto foi elaborado de maneira apropriada, mas a análise de gestão de obra demonstrou que a falta de planejamento estratégico fez com que o gerenciamento fosse ineficiente em relação aos limites de prazo e orçamento para atender a realização do evento.

## REFERÊNCIAS


ASSUMPÇÃO, J.F.P. **Gerenciamento de empreendimentos na construção civil: modelo de planejamento estratégico na produção de edifícios.** São Paulo, 1996. 206 p.

BRASIL. **Matriz de Responsabilidade Consolidada**. Disponível em: <http://arquivo.esporte.gov.br/arquivos/assessoriaEspecialFutebol/copa2014/Matriz_consolidada_dez_2014.pdf>. Acesso em: 24 Abr. 2021.

CHAMINÉ, P.M.B. **Contexto Histórico, sob o Enfoque Urbanístico, da Formulação e Legalização do Estudo de Impacto de Vizinhança.** São Paulo, 2010.

CORRÊA, R.L. **O espaço urbano.** 4a ed. São Paulo: Ática, 2003.1 p.

G1. **Aeroportos de 7 sedes da copa estão com capacidade acima de 85%.** Disponível em: <http://g1.globo.com/economia/noticia/2014/02/aeroportos-de-7-sedes-da-copa-estao-com-capacidade-acima-de-85.html>. Acesso em: 08 Set. 2021.

Globo Esporte. **Copa do Mundo**. Disponível em: <http://globoesporte.globo.com/futebol/copa-do-mundo/noticia/2014/03/100-dias-da-copa-so-18-das-obras-de-infraestrutura-foram-entregues.html>. Acesso em: 23 Abr. 2021.

GRATTON, C.; PREUSS, H. **Maximizing Olympic Impacts by Building Up Legacies.** 2008.

GOMES, R.C.G. **A postura das empresas construtoras de obras públicas da Grande Florianópolis em relação ao PBQP-H.** Santa Catarina, 2007. 13 p.

LEMOS, A.C.F.V. **O planejamento estratégico como ferramenta competitiva.** Rio Grande do Sul, 2007, p.2.

MARQUES, J.S. **Estudo de impacto de vizinhança: uma análise crítica feita por meio dos relatórios de impacto de vizinhança apresentados no DF.** Brasília, 2010.

MOREIRA, P.H.P. **Gerenciamento de projetos: aplicação da teoria da tríplice restrição na escolha da opção mais viável para implantação de uma torre de pré-calcinação em uma indústria cimenteira localizada no centro-oeste mineiro.** 2017. 37 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Formiga- Minas Gerais, Minas Gerais. 2017.

OLIVEIRA, R.B.; SOUSA, E.P. Índice de sustentabilidade ambiental dos estados brasileiros, 2010 e 2014**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, Florianópolis**, v. 9, n. 2, p. 376-395, abr/jun. 2020.

PMI - PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos: guia PMBOK.** Em português. **Project Management Institute, Inc. EUA.** 5a ed. Global Standard, 2013.

SABINO, J. B. **Projetos de gestão na construção civil: análise crítica.** 2016. 8 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais. 2016.

SANTOS, F.A. FERREIRA, R. **Avaliação de maturidade em gestão de projetos: Estudo de caso em três empresas de grande porte da região de Bauru-SP.** 2017. 1 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade FGP, São Paulo. 2017.

Secretaria Especial do Esporte. **O Governo Federal detalha investimentos feitos no País para a Copa do Mundo**. Disponível em: <http://arquivo.esporte.gov.br/index.php/institucional/futebol-e-direitos-do-torcedor/copa-2014/noticias2/34307-governo-federal-detalha-investimentos-feitos-no-pais-para-a-copa-do-mundo>. Acesso em: 25 Abr. 2021.

Secretaria Especial do Esporte. **O Governo Federal detalha investimentos feitos no País para a Copa do Mundo**. Disponível em: <http://arquivo.esporte.gov.br/index.php/institucional/futebol-e-direitos-do-torcedor/copa-2014/noticias2/34307-governo-federal-detalha-investimentos-feitos-no-pais-para-a-copa-do-mundo>. Acesso em: 25 Abr. 2021.

SILVA, B.C.P. **Estudo de impacto de vizinhança: análise das legislações dos municípios do Rio de Janeiro e de Niterói.** 2016. 2 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

SILVA, M.S.T.C. **Planejamento e controle de obras.** Bahia, 2011, p.15.

# CAPÍTULO 15

# O DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES DE ENSINO FRENTE ÀS ESTRATÉGIAS ARQUITETÔNICAS, ENERGÉTICAS E OS IMPACTOS CLIMÁTICOS ATUAIS

**Jane Tassinari Fantinelli**
Universidade São Francisco, Curso de Arquitetura e Urbanismo
Itatiba, SP
http://lattes.cnpq.br/8993597817785529

**Mariana Cene da Silva**
Universidade São Francisco, Curso de Arquitetura e Urbanismo
Campinas, SP
http://lattes.cnpq.br/7972414816976140

**Caroline Oliveira Tartari**
Universidade São Francisco, Curso de Arquitetura e Urbanismo
Itatiba, SP
http://lattes.cnpq.br/8478700286581196

**RESUMO:** A produtividade, operacionalidade, adaptabilidade, longevidade e reciclagem de uma edificação, o seu ciclo de vida, inicia na avaliação da energia incorporada de cada material ou sistema construtivo. Compõe uma complexa rede de informações e conhecimentos que fundamentam a busca de soluções e decisões na concepção arquitetônica de uma edificação. As soluções adequadas a serem criadas para o projeto supõe um processo decisório constante e passa pela reflexão das questões macroeconômicas, ambientais e a responsabilidade final com o ambiente gerado, construído e modificado pela sociedade e instituições civis e governamentais. As pesquisas aqui apresentadas foram realizadas entre 2020 e 2021 em uma escola de ensino fundamental, na cidade de Campinas, e outra, de ensino infantil, em Itatiba. Seu objetivo foi o de avaliar o desempenho higrotérmico da edificação, notadamente relacionado à sua concepção arquitetônica e o domínio das estratégias necessárias para mitigar os atuais impactos climáticos frente ao bem estar interno desses espaços de ensino. Os estudos realizados, seus procedimentos, métodos, atividades teóricas e práticas tiveram como intenção estimular a experimentação, por meio do levantamento de dados de campo, diagnóstico e posterior proposição de soluções. A avaliação quantitativa e qualitativa dos níveis de satisfação com o conforto térmico também contribuiu para corroborar os levantamentos técnicos realizados em cada escola e para auxiliar na elaboração dos subsídios para a readequação arquitetônica e energética de cada edificação.

**PALAVRAS-CHAVE**: Desempenho térmico; Arquitetura escolar, Impactos climáticos.

**ABSTRACT:** The productivity, operability, adaptability, longevity and recycling of a building, its life cycle, starts with the assessment of the embodied energy of each material or construction system. It comprises a complex network of information and knowledge that support the search for solutions and decisions in the architectural design of a building. The appropriate solutions to be created for the project assume a constant decision-making process and go through the reflection of macroeconomic and environmental issues and the final responsibility with the environment generated, built and

modified by society and civil and governmental institutions. The research presented here was carried out between 2020 and 2021 in an elementary school, in the city of Campinas, and another, for kindergarten, in Itatiba. Its objective was to evaluate the hygrothermal performance of the building, notably related to its architectural design and the mastery of the strategies necessary to mitigate the current climate impacts on the internal well-being of these teaching spaces. The studies carried out, their procedures, methods, theoretical and practical activities were intended to encourage experimentation, through field data collection, diagnosis and subsequent proposition of solutions. The quantitative and qualitative assessment of the levels of satisfaction with thermal comfort also contributed to corroborate the technical surveys carried out in each school and to assist in the preparation of subsidies for the architectural and energy readjustment of each building.
**KEYWORDS**: Thermal performance; School architecture; Climate impacts.

## 1 I INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm provocado o aumento da temperatura média do planeta e, consequentemente, elevado o nível do mar devido ao derretimento das calotas polares, o que pode ocasionar o desaparecimento de ilhas e cidades litorâneas densamente povoadas. A frequência cada vez maior de eventos extremos climáticos, como tempestades tropicais, inundações, ondas de calor, secas, nevascas, furacões, tornados e tsunamis, geram graves consequências para as populações humanas e os ecossistemas naturais. O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), órgão das Nações Unidas, aponta que o aumento de temperatura tem a de ser de responsabilidade e causado pela ação do homem (IPCC, 2013).

A influência do aumento da temperatura e o impacto da radiação solar sobre a edificação têm sido notificados pelos dados climáticos e percebidos também pelos usuários. Dados da NASA de 2019 reportam que a temperatura em 2018 foi 0,83ºC maior do que a média do século XX, representada pelo período de 1951 a 1980.

O comportamento ambiental nas habitações consequentemente vai sofrer uma mudança ao longo dos anos. Nos cenários previstos o aumento da temperatura do ar externo até 2.100 será de 4.23°C, com consequente novas exigências, parâmetros e soluções para o desempenho térmico das edificações (NUNES e GIGLIO, 2020). Os elementos que compõem o seu entorno terão que ter novos indicadores de transmitância e capacidade térmica para poder satisfazer as exigências de conforto higrotérmico dos usuários.

Ao estudar a edificação para o ensino-aprendizagem, Rios (2016) definiu o ambiente escolar como um espaço público no qual grande parte das crianças e jovens passarão seu tempo e exercitarão o convívio social. O tipo de estrutura física da escola, assim como sua organização, manutenção e segurança, revela a vida que ali se desenvolve. O trabalho educativo tem como contorno um espaço físico, agradável e confortável. Não se trata

de espaços confinados, mas de espaços de usos múltiplos que estimulam o despertar da criatividade e mostram um lugar de pertencimento. O ambiente escolar deve oferecer adaptação, acolhimento, aconchego e pertencimento para as crianças e sua comunidade colaborativa, professores, pais e funcionários, provendo o bem estar em um espaço físico confortável. Botton (2007), em *A Arquitetura da Felicidade*, já demonstrava que as pessoas são influenciadas de forma profunda e decisiva pela arquitetura à sua volta. O estilo, a aparência e os objetos que a preenchem afetam a sensibilidade, o humor e influenciam o modo de ser e de sentir de cada um e até mesmo a personalidade dos indivíduos. Nesta mesma linha de argumentação está o conforto ambiental e higrotérmico, que precisa ser planejado e previsto para as edificações educacionais e que é objeto dessa pesquisa.

As escolas escolhidas para esta pesquisa são destinadas à formação de crianças do Ensino Infantil com idade entre 0 a 6 anos, na cidade de Itatiba (Escola A), e Ensino Fundamental II, entre 11 e 14 anos, na cidade de Campinas (Escola B). Possuem como proposta filosófica-pedagógica o ensino humanista, privilegiando também as atividades informais, criativas e lúdicas. Estão inseridas no zoneamento central das respectivas cidades e atendem alunos com renda econômica, entre média e alta.

## 2 I OBJETIVOS GERAIS

Verificar as condições climáticas e ambientais, o impacto da carga térmica sobre a edificação e as estratégias arquitetônicas adotadas em escolas infantis, em duas cidades do estado de São Paulo, analisando comparativamente o desempenho da edificação frente ao conforto térmico, lumínico e acústico.

## 3 I METODOLOGIA

A pesquisa foi experimental com levantamentos de campo quantitativo das variáveis meteorológicas dos ambientes externos e internos de escolas em duas cidades, para a avaliação do desempenho ambiental (térmico, lumínico e acústico) e dos parâmetros arquitetônicos e construtivos utilizados nas duas edificações educacionais ( Escola A e Escola B).

## 4 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Escola A

Na análise da tipologia arquitetônica da *Escola A* (Latitude: -22.9900121; Longitude: -46.8492132; Altitude: 50m) verifica-se que a edificação foi adaptada para a atividade de ensino infantil e se desenvolve em um grande pavimento térreo onde estão dispostas as

atividades escolares: coordenação, as salas de aula, sala de atendimento, refeitório e cozinha. Em zonas distintas estão o berçário e as atividades extracurriculares como sala de música e sala de ballet. É rodeada por árvores de porte e as áreas de recuos são gramadas. A edificação (Figura 1) é constituída de paredes de tijolos cerâmicos maciços, laje de concreto, cobertura com tesouras de madeira e telhas cerâmicas. A ventilação e a iluminação são naturais, por meio de janelas dispostas nas paredes com caixilhos de alumínio.

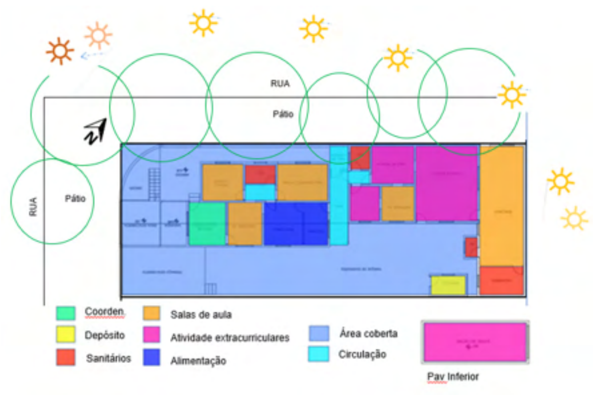



Figura 1. Implantação e zoneamento tipológico da Escola A

Fonte: Tartari e Fantinelli, 2021.

A Tabela 1 mostra as condições meteorológicas no entorno da *Escola A* (Itatiba), em 8 de novembro de 2020 e 23 de julho de 2021. Os dados já evidenciam as condições extremas das temperaturas e as baixas umidades do ar no final da primavera de 2020 no micro clima da escola. No inverno de 2021, ventos, umidade, temperatura e a baixa radiação solar já retornavam às condições climáticas das médias normais da cidade.

A *Escola A* tem como pontos positivos a composição de materiais e elementos construtivos de sua envoltória: paredes de tijolos maciços cerâmicos, laje de concreto e cobertura com de telhas cerâmicas. Estes materiais se caracterizam por terem um bom atraso térmico e baixa transmitância térmica. São responsáveis por propiciar um razoável isolamento térmico e conforto interior na edificação. A existência de grandes árvores nas faces noroeste e sudoeste, junto às calçadas da *Escola A*, tem a função importante de também diminuir as temperaturas extremas nas estações da primavera e verão, como evidenciado nas medições realizadas em novembro de 2020.

| | Calçada da escola | | | | Data da medição: 08 nov 2020 |
|---|---|---|---|---|---|
| POSIÇÃO | TEMPERATURA (°C) | RADIAÇÃO (Lux) | UMIDADE (%) | VENTOS (m/s) | RUIDO SONORO (dB) |
| 1 | 35,1 °C | 8.500 | 19,9 % | 0,5 | 57,3 |
| 2 | 35,0 °C | 7.400 | 18,8 % | 0,8 | 55,6 |
| 3 | 35,2 °C | 7.600 | 19,9 % | 1,0 | 64,0 |
| 4 | 35,3 °C | 6.340 | 21,1 % | 1,1 | 63,0 |

Condições do céu na data da medição:dia ensolarado. Temperatura média na cidade 29 C°

Tabela 1 Condições meteorológicas no entorno da *Escola A*

Fonte: Tartari e Fantinelli, 2021.

A análise dos dados coletados de temperaturas, no mês de julho de 2021 (Tabela 2 e Tabela 3), mostram que a diferença, entre os locais mais sombreados para os mais ensolarados, foi de apenas 1,3°C (de 21,5°C a 22,8°C). Internamente a maioria das salas ficaram com uma temperatura ligeiramente mais baixas que a exterior, de aproximadamente de 1°C a 2,5 °C, conforme os níveis de iluminação natural e a radiação solar proporcionada em cada ambiente.

| | Calçada da escola | | | | Data da medição: 23 julho 2021 |
|---|---|---|---|---|---|
| POSIÇÃO | TEMPERATURA (°C) | RADIAÇÃO (Lux) | UMIDADE (%) | VENTOS (m/s) | RUIDO SONORO (dB) |
| 1 | 21,5 °C | 2.700 | 50,0 % | 5,2 | 60,0 |
| 2 | 21,8 °C | 3.452 | 47,0 % | 3,2 | 57,3 |
| 3 | 22,2 °C | 4.449 | 38,5 % | 4,2 | 70,5 |
| 4 | 22,3 °C | 4.335 | 25,2 % | 1,2 | 65,7 |

Condições do céu na data da medição: dia ensolarado, temperatura média na cidade 22 C°

Tabela 2 Condições meteorológicas no entorno da *Escola A*

Fonte: Tartari e Fantinelli, 2021.

Nas adaptações arquitetônicas realizadas instituição para a criação das atividades de escola infantil e berçário, não foi extinto um conflito funcional, sob o ponto de vista acústico (o da localização da escola) e também o da concepção lumínica (o da adaptação de uma residência para a atividade escolar).

Os baixos níveis de iluminância das salas de aulas (310 lux) e Refeitório (350 lux), ou os ambientes com excesso de iluminância como a Sala Infantil (com 2500 lux), evidenciam a dificuldade de adequação para as novas funções escolares. As esquadrias existentes, com caixilhos de alumínio e vidro (sistema de correr e sem sistemas de sombreamento),

não atendem ao dimensionamento que priorize a iluminação e o arejamento natural necessários para a atividade escolar.

| | Medições internas | | | | Data da medição: 23 jul 2021 |
|---|---|---|---|---|---|
| POSIÇÃO | TEMPERATURA (°C) | RADIAÇÃO iluminância (Lux) | UMIDADE (%) | VENTOS (m/s) | RUIDO SONORO dB (A) |
| Area descoberta | 20,1 °C | 3.200 | 48,0 % | 0 | 54,4 |
| Varanda | 20,7°C | 12.090 | 35,0 % | 0 | 89,4 |
| Abrigo | 20,8 °C | 690 | 31,0 % | 0 | 100,0 |
| Atendimento | 20,6 °C | 840 | 40,0 % | 0 | 61,2 |
| Sala 1 | 20,3 °C | 310 | 45,0 % | 0 | 54,0 |
| Maternal 02 | 21,0 °C | 439 | 50,1 % | 0 | 43,9 |
| Alimentação | 21,9°C | 350 | 42,0 % | 0 | 42,1 |
| Cozinha | 21,7 °C | 460 | 34,0 % | 0 | 58,0 |
| Sala Infantil | 21,4 °C | 2.550 | 32,0 % | 0 | 60,0 |
| Hall de entrada | 21,1 °C | 3.001 | 21,0 % | 0 | 57,2 |
| Sala de Música | 20,4 °C | 450 | 23,0 % | 0 | 56,0 |
| Maternal 01 | 20,1 °C | 390 | 57,0 % | 0 | 39,7 |
| Sala de Ballet | 20,3 °C | 446 | 35,5 % | 0 | 40,0 |
| Bercário | 21,7 °C | 980 | 40,0 % | 0 | 35,1 |
| Depósito | 22,5 °C | 980 | 20,0 % | 0 | 119,8 |
| Terraço | 22,1 °C | 1.100 | 21,0 % | 0 | 100,0 |
| Parquinho | 22,6 °C | 12.500 | 15,0 % | 0 | 120,5 |

Condições do céu na data da medição: dia ensolarado, temperatura média na cidade 22 C°

Tabela 3 Condições climáticas internas na *Escola A*

Fonte: Tartari e Fantinelli, 2021.

É indispensável um novo *design* que se adeque às novas dimensões e que possuam dispositivos que permitam a renovação do ar e também o controle da incidência solar nos ambientes internos. Embora a tipologia arquitetônica de uma moradia seja uma referência fundamental para a filosofia pedagógica adotada, a sua localização, junto as duas vias de grande tráfego de carros e camionetes, traz prejuízo para o bem estar físico e psicológicos dos ocupantes. Os níveis sonoros medidos na escola, variaram de 55dB (A) a 120,5dB (A). Para Braga (2016) são níveis que já podem comprometer o processo de aprendizagem dos alunos. As técnicas pedagógicas têm que vir seguidas de uma situação acústica favorável para que a mensagem emitida pelo professor seja recebida com clareza pelo aluno. Apenas nas salas ocupadas por crianças do maternal são garantidos níveis de ruído mais baixos, entre 35,1dB (A) e 43,9 dB(A), conforme determina a Norma Brasileira 10152 (NBR 10152,

1992), de que em ambientes escolares não ultrapasse 50 dB(A).

## 4.2 Escola B

A *Escola B* (Latitude: -22.9255; Longitude: - 47,021439; altitude: 680m) configura-se em um volume retangular de três pavimentos (Figura 2), cuja circulação central o divide em dois novos volumes retangulares onde foram projetadas as salas de aula. Na face sul fica uma sequência de salas, e de forma paralela, na face norte, a outra sequência de salas. A circulação pelo prédio é feita por escadas e elevadores. O térreo possui a quadra poliesportiva, área de serviços, sala dos professores, sanitários, cozinha, cantina, área de higienização, sala de nutricionista, área de alimentação, cabine técnica, sala de bolas e despejo. O primeiro pavimento possui dez salas de aula, sendo uma delas sala dupla, área do servidor, coordenação e sanitários (Figura 3). Já o 2° pavimento possui os sanitários, depósito, espaço multiuso e um pátio aberto. Rampas de acesso só existem no pavimento térreo. Todo o sistema de ventilação e refrigeração é por ar condicionado. O sistema estrutural da edificação é em concreto armado; algumas vedações são em paredes de bloco de concreto e as demais em cortinas de vidro (janelas com caixilhos de alumínio e vidro). No terraço, parte é coberta (laje de concreto e cobertura de metálica e a demais impermeabilizada e revestida com cerâmica. A edificação possui 100% de taxa de ocupação edificada e não possui vegetação no seu entorno.




Figura 2. Corte esquemático da Escola B, em Campinas

Fonte: Próprio autor.

Os principais problemas relacionados ao conforto ambiental da Escola B são os de natureza térmica, lumínica e acústica, constatados por meio do levantamento de dados e ocorrem em todos os pavimentos da escola (ver Tabela 3, 4 e 5).

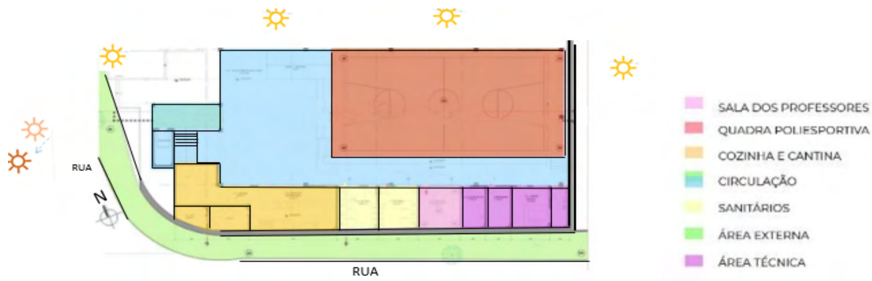



Figura 3. Zoneamento do pavimento térreo da *Escola B*

Fonte: Silva e Fantinelli, 2021.

Estão especialmente ligados às decisões de projeto, sua concepção (partido arquitetônico), sua implantação bioclimática, a escolha dos componentes (e materiais) de vedação, sistemas de iluminação e ventilação adotados (ar condicionado). As medições climáticas foram realizadas em 18 de novembro de 2020, com as seguintes condições: no pavimento térreo e no primeiro pavimento as janelas estavam abertas, o ar condicionado e ventiladores desligados. No pavimento de cobertura as janelas estavam fechadas, o ar condicionado e ventiladores desligados

### *4.2.1 Pavimento térreo da Escola B*

A edificação escolar possui uma tipologia arquitetônica cujas salas de aulas foram concebidas seguindo um eixo de circulação horizontal, desenvolvido no sentido oeste para leste e vice-versa. As salas de aulas foram dispostas para as faces, ou norte, ou sul, com cortinas de vidro (janelas) colocadas nessas faces. A face norte da edificação possui grande incidência de radiação térmica e luminosa, e a face sudoeste com predominância da incidência lumínica, mas com grande carga térmica, a partir das 17h, nas estações do verão. As circulações internas da edificação escolar não foram projetadas para o uso de luz natural e não são ventiladas.

Em relação ao pavimento térreo (Figura 3), quando realizadas as medições de temperatura, ruído, iluminação, ventos e umidade, observou-se que a sala dos professores é a que possui as maiores deficiências, principalmente no que diz respeito à iluminação natural, por estar localizada em uma área completamente coberta. Os índices de iluminância medidos mostraram uma variação entre 42 a 162lux. Existe, portanto, a necessidade do uso obrigatório de uma fonte de iluminação artificial para que seja possível as atividades desempenhadas pelos professores. Além disso, a sala é considerada a mais quente e úmida dos ambientes analisados, conforme mostra a Tabela 3.

A variação de temperatura medida ficou entre 30,4 °C a 31,2°C, também fora da Norma Regulamentadora NR17: Ergonomia do Trabalho, que indica o índice de temperatura

efetiva entre 20°C e 23°C para o conforto térmico em ambientes de trabalho.

| POSIÇÃO | TEMPERATURA (°C) | RADIAÇÃO Iluminância (Lux) | UMIDADE (%) | VENTOS (m/s) | RUIDO SONORO dB (A) |
|---|---|---|---|---|---|
| CALÇADA DA ESCOLA | | | | | |
| 1 | 30,6 °C | 12.656 | 48,5 % | 0,0 | 53,0 |
| 2 | 31,0 °C | 19.076 | 49,3 % | 3,0 | 46,2 |
| 3 | 31,0 °C | 17.609 | 48,8 % | 0,6 | 42,0 |
| QUADRA POLIESPORTIVA/PÁTIO | | | | | |
| 1 | 30,5 °C | 3.293 | 59,2 % | 0 | 66,2 |
| 2 | 30,6°C | 2.392 | 57,8 % | 0 | 66,0 |
| 3 | 31,2 °C | 236 | 51,3 % | 0 | 67,1 |
| 4 | 30,7 °C | 253 | 48,6 % | 0 | 66,5 |
| 5 | 30,9 °C | 238 | 50,1 % | 0 | 67,8 |
| SALA DOS PROFESSORES | | | | | |
| 1 | 31,2 °C | 162 | 50,7 % | 0 | 75,2 |
| 2 | 30,4°C | 69 | 56,7 % | 0 | 66,2 |
| 3 | 31,0 °C | 42 | 65,0 % | 0 | 66,6 |
| 4 | 31,0 °C | 58 | 55,0 % | 0 | 66,8 |
| 5 | 30,7 °C | 82 | 51,4 % | 0 | 65,5 |
| ESCADA | | | | | |
| 1 | 30,1 °C | 2.456 | 51,4 % | 0 | 53,4 |
| 2 | 30,3°C | 3.477 | 51,0 % | 0 | 59,0 |
| 3 | 30,4 °C | 3.510 | 52,3 % | 0 | 58,2 |

Data da medição: 18 nov 2020 . Condições do céu: dia nublado. Temperatura média na cidade 26 C°.

As janelas estavam abertas e o ar condicionado e ventiladores desligados.

Tabela 3 Condições climáticas no Pav Térreo da *Escola B*

Fonte: Silva e Fantinelli, 2021.

Com relação ao ruído, é possível observar que a quadra de esportes apresenta altos índices de ruídos sonoros, sendo justificado pelo seu próprio uso, pois além de área esportiva também é área de recreação dos alunos nos intervalos de aula. A consequência é o desconforto acústico na sala dos professores, com níveis de ruído entre 65,5db(A) a 75,2dB(A) em desacordo com a NBR 10152, que estabelece níveis entre 40dB(A) a 50dB(A) para atividades escolares. Este ambiente configura-se como um dos mais críticos em termos de conforto ambiental da escola.

### 4.2.2 Primeiro pavimento da Escola B

Todos os compartimentos desse pavimento (Figura 4) são refrigerados artificialmente ou por meio de ventiladores, motivando que todas as janelas permaneçam fechadas. Não existe, portanto, uma ventilação natural auxiliar secundária, inclusive na circulação central da edificação. Como a vedação das salas é feita pelo sistema de "pele de vidro" existe a necessidade de um controle da incidência solar e do ofuscamento pela excessiva iluminância. Portanto todas as aberturas (janelas) possuem cortinas tipo "blackout" que permanecem fechadas para minimizar o ofuscamento nas lousas brancas, o que corrobora para o uso constante da iluminação artificial.

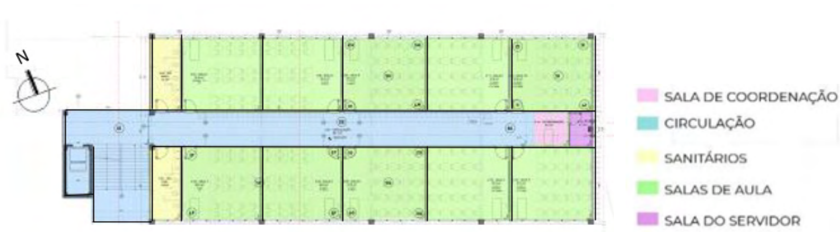



Figura 4. Zoneamento tipológico do 1°pav da *Escola B*

Fonte: Silva e Fantinelli, 2021.

As salas de aulas localizadas na fachada oeste e noroeste do prédio são as que sofrem os maiores impactos térmicos pois recebem a radiação solar intensa do período da tarde. Os dados levantados das condições climáticas do 1° pavimento da Escola B estão mostrados na Tabela 4.

Nesse pavimento, no qual estão localizadas as salas de aulas das turmas de 5° série à 9° série, são registradas elevadas temperaturas internas, que variam de 30,8 °C a 33,4 °C.

| POSIÇÃO | TEMPERATURA (°C) | ILUMINÂNCIA (Lux) Lum. Desligadas X Lum. Ligadas | | UMIDADE (%) | RUIDO SONORO dB (A) |
|---|---|---|---|---|---|
| CORREDOR SALAS DE AULA | | | | | |
| 1 | 33,4 °C | | 369 | 50,6 % | 50,6 |
| 2 | 32,9 °C | | 126 | 57,6 % | 40,9 |
| 3 | 32,7 °C | | 82 | 50,1 % | 52,9 |
| SALA DE AULA DUPLA | | | | | |
| 1 | 32,0 °C | 65 | 311 | 55,1 % | 60,7 |
| 2 | 31,9°C | 53 | 254 | 49,9 % | 59,3 |
| 3 | 31,5 °C | 50 | 239 | 48,8 % | 57,2 |
| 4 | 31,6 °C | 144 | 780 | 50,4 % | 59,6 |
| 5 | 31,9 °C | 192 | 743 | 56,5 % | 53,2 |
| SALA DE AULA 1 | | | | | |
| 1 | 32,0 °C | 65 | 253 | 61 % | 66,9 |
| 2 | 32,7 °C | 91 | 210 | 63 % | 45,1 |
| 3 | 32,5 °C | 37 | 315 | 57,8 % | 41,1 |
| 4 | 33,0 °C | 104 | 336 | 71,4 % | 42,5 |
| 5 | 32,8 °C | 74 | 279 | 57,7 % | 46,8 |
| SALA DE AULA 2 | | | | | |
| 1 | 31,9 °C | 50 | 234 | 47,9 % | 43,7 |
| 2 | 31,2°C | 165 | 217 | 51,3 % | 44,0 |
| 3 | 31,1 °C | 178 | 717 | 50,6 % | 50,7 |
| 4 | 30,8 °C | 48 | 310 | 52,4 % | 43,1 |
| 4 | 31,0 °C | 74 | 300 | 47,6 % | 41,6 |

Data da medição: 18 nov 2020.. Condições do céu: dia nublado. Temperatura média na cidade 26 C°.

As janelas estavam abertas e o ar condicionado e ventiladores desligados.

Tabela 4 Condições climáticas dos ambientes selecionados do 1° pav

Fonte: Silva e Fantinelli, 2021.

Mesmo com as janelas abertas e não existe circulação de ar (a velocidade do ar regulamentada pela NR17 é de não ser superior a 0,75 m/s) Os ambientes são abafados e com sensação de extremo desconforto, sentido por estes pesquisadores no momento das medições de campo. Esses espaços mostraram uma baixa umidade relativa do ar da data da medição (18 de novembro de 2020), entre 41% e 66,9%, embora a NR 17 estabeleça um limite não inferior a 40%.

### *4.2.3 Pavimento de cobertura da Escola B*

O pavimento de cobertura, contém o Espaço *Maker*, destinado a atividades extracurriculares, laboratório de ciências, artes, entre outros. Esse local também apresentou

resultados preocupantes quanto aos dados climáticos medidos. A edificação possui três fachadas – norte, leste e oeste – em cortina de vidro, sem nenhum tipo de interceptação solar (Figura 5). O ambiente necessita o uso constante do ar-condicionado.




Figura 5. Zoneamento tipológico pavimento da *Escola B*

Fonte: Silva e Fantinelli, 2021.

É importante ressaltar que esse local apresentou a temperatura mais elevada entre todos os pontos analisados, atingindo 33,4°C em um dia nublado com temperatura média na calçada de 30,9°C e temperatura média na cidade de 26°C (Tabela 4).

| POSIÇÃO | TEMPERATURA (°C) | ILUMINÂNCIA (Lux) Luminárias Desligadas | | UMIDADE (%) | RUIDO SONORO dB (A) |
|---|---|---|---|---|---|
| CORREDOR da SALA MAKER | | | | | |
| 1 | 31,2 °C | | 2.871 | 59,2 % | 44,1 |
| 2 | 31,5 °C | | 780 | 51,2 % | 45,0 |
| ESPAÇO MAKER | | | | | |
| 1 | 33,0 °C | | 2.831 | 59,9 % | 46,5 |
| 2 | 33,5°C | | 5.066 | 53,4 % | 63,1 |
| 3 | 32,8 °C | | 5.806 | 63,5 % | 44,5 |
| 4 | 33,2 °C | | 2;232 | 51,5 % | 46,0 |
| 5 | 33,2 °C | | 857 | 47,9 % | 42,0 |
| TERRAÇO | | | | | |
| 1 | 32,3 °C | | 10.505 | 61,0 % | 48,0 |
| 2 | 32,8 °C | | 12.863 | 63,0 % | 40,6 |
| 3 | 32,9 °C | | 13.361 | 57,8 % | 41,0 |
| 4 | 32,9 °C | | 18.167 | 71,4 % | 40,5 |
| 5 | 32,8 °C | | 18.921 | 57,7 % | 41,3 |

Data da medição: 18 nov 2020. Condições do céu: dia nublado. Temperatura média na cidade 26 C°.

As janelas estavam fechadas e o ar condicionado e ventiladores desligados.

Tabela 4 Condições climáticas da Cobertura - 2° pav

Fonte: Silva e Fantinelli, 2021

A diferença 2,5°C, numa análise preliminar pode ser creditada a inexistência da adoção de estratégias bioclimáticas na edificação para a atenuação das condições climáticas do local e a carga térmica incidente com a adoção deste tipo de envoltória.

Algumas soluções podem ser adotadas para atenuar a carga térmica incidente nesses fechamentos translúcidos, como a instalação de brises de sombreamento em toda a fachada com maior incidência de carga térmica (face norte e noroeste). Deverão ser colocados afastados das paredes para garantir o efeito de convecção do ar e também a possibilidade de manutenção de paredes e janelas. A adoção de brises que podem ser movimentados de forma inteligente (física ou digital) permite o uso da iluminação natural, o controle sobre os ofuscamentos existentes nas salas de aula e a possibilidade da ventilação natural. Em situações de atendimento ao conforto ambiental elas podem ser usadas diariamente evitando o uso do ar condicionado. A substituição de paredes de *drywall* das salas de aula por grandes esquadrias de vidro com tratamento acústico, também garantem a luz natural, reduzem a utilização de luz artificial e contribuiriam para a sensação psicológica de amplidão e de conforto visual. Alguns espaços, como o Espaço *Maker* deverão ser totalmente estudados para que sejam alcançados os índices de conforto térmico, lumínico e acústico, com materiais e sistema construtivos para coberturas, forros e vedações que possuam indicadores de transmitância e capacidade térmica capazes de se adequar às recomendações bioclimáticas do local e da cidade. E isto envolve também o controle dos demais fatores, seja os níveis de ruído, o controle da ventilação, da umidade, da insolação, da temperatura, para que o conforto se estenda para o seu conceito mais amplo de "sensação de plena satisfação".

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

As condições climáticas e ambientais atuais, as características geológicas e topográficas, peculiares de dado local, lote ou micro clima específico, interagem com as variáveis culturais, socioeconômicas e construtivas para configurar e assegurar as novas estratégias bioclimáticas para a edificação do século XXI. Conhecer os níveis de satisfação dos usuários sobre as atuais condições de conforto higrotérmico dos espaços físicos escolares é um dos instrumentos de análise que os profissionais da arquitetura dispõem para propor soluções que venham a requalificar o ambiente. O estudo das questões climáticas, inerentes também a cada zona climática na qual está implantada a edificação, seja a temperatura, a umidade do ar, a radiação solar, as condições topográficas e sombreamentos naturais se somam a fatores ergonômicos e percepções cognitivas e sensitivas que decorre da espacialidade arquitetônica, seu uso, interação e apropriação. As mudanças climáticas e o decorrente aumento das temperaturas e intensidades pluviométricas cada vez mais expõem a precariedade dos sistemas construtivos convencionais para conter as

condições extremas do clima atual. Os conceitos bioclimáticos trazem para a concepção arquitetônica a interação entre o homem, o meio ambiente, a cultura, a tecnologia e a sustentabilidade, tirando partido das características físicas dos componentes da edificação que possam criar soluções estratégicas para a requalificação do espaço físico. A pesquisa apresentada mostrou duas concepções arquitetônicas que ainda precisam aprofundamento no conhecimento das características físicas, mecânicas e químicas dos materiais, seus componentes, suas composições espaciais e construtivas. O conhecimento das condições em que se encontram a envoltória, seus vãos de fechamentos opacos (paredes), seus fechamentos translúcidos (tipos de janelas e vidros), sua cobertura (tipos de telhas e isolamentos), seu entorno (massas de vegetação ou pátios acimentados) e, com isto, o posterior cálculo da carga térmica que será transmitida ou evitada, ainda precisa ser um dos focos de investigação e estudo para determinar a estratégia mais adequada para alcançar as melhores condições de conforto interior de espaços escolares.

## REFERÊNCIAS


BRAGA, M. S. F. **Exposição ao ruído nas salas de aula em escolas do ensino básico da cidade de São Paulo e sua influência em tarefas de leitura: um estudo preliminar**. Dissertação (mestrado) Escola Superior de Tecnologia da Saúde do Porto, Instituto Politécnico do Porto, Portugal. 2016.

BOTTON. A.A. **A arquitetura da felicidade**. Rio de Janeiro: Rocco; 2007.

IPCC, **Relatório das causas das mudanças climáticas**, 2013, disponível em: https://www.wwf.org.br/?36202/Relatrio-IPCC-mostra-a-gravidade-e-as-causas-das-mudanas-climticas-, acesso em 3/3/2022.

NBR 10152, **Níveis de ruído para conforto acústico**, disponível em: http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-10.152-N%C3%ADveis-de-ru%C3%ADdo-para-conforto-ac%C3%BAstico.pdf, acesso em 3/3/2022.

NUNES, G. H; GIGLIO, T.G. F **A influência das mudanças climáticas no desempenho térmico de uma habitação com diferentes sistemas construtivos: análise do clima de São Paulo.** Revista Principia, Divulgação Cientifica e Tecnologica do IFPB, n.48. 2020.

RIOS, T. A. **Compreender e Ensinar: por uma docência da melhor qualidade**. 8°Ed. Costez Editora, 2016.

SILVA, M. C; FANTINELLI, J. T. **Os parâmetros de conforto ambiental em escola infantil privada: estudo de caso no Parque Imperador, Campinas.** Relatório Final de Pesquisa de Iniciação Científica, PROBAICITExt, 2020/2021- apresentado ao Programa de Iniciação Científica da Universidade São Francisco, SP. julho 2021.

TARTARI, C. O; FANTINELLI, J. T. **A concepção e adaptação de escolas infantis: o conforto ambiental como requisito para o projeto arquitetônico.** Relatório Final de Pesquisa Iniciação Científica, PROBAICITExt, 2020/2021- apresentado ao Programa de Iniciação Científica – PIC da Universidade São Francisco, SP. Julho 2021.

# CAPÍTULO 16

# DESENVOLVIMENTO DE UM GERADOR DE OZÔNIO DE BAIXO CUSTO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA CONTAMINADA COM CORANTES

**Leticia Pereira Brito D'Oliveira**
Universidade São Francisco, Engenharia Química
Itatiba – SP
http://lattes.cnpq.br/9327711000864123

**Marcos Vinicius Pernambuco Zeferino**
Itatiba – SP
http://lattes.cnpq.br/8020013002033808

**Roberta Martins da Costa Bianchi**
Itatiba – SP
http://lattes.cnpq.br/1178282277362723

**Renato Franco de Camargo**
Itatiba – SP
http://lattes.cnpq.br/2446780558301454

**RESUMO**: Diante dos vários tipos de tratamento de efluentes que visam a extração dos corantes de água industrial, dentre eles: Eletrofloculação, Adsorção, precipitação química, lodos ativados, entre outros, o tratamento de água a partir do uso de ozônio é uma alternativa mais eficiente que o cloro, pois não gera resíduos, o que o torna sustentável ao meio ambiente, gera o aumento do nível de oxigênio dissolvido e melhoria nos quesitos turbidez e cor da água. O objetivo deste presente estudo é promover o tratamento de água contaminada com corantes, visando a clarificação e pureza das águas, através de um protótipo utilizando Gerador de ozônio. Este funciona através de uma descarga Corona, gerada por um conversor flyback, aplicada em processos oxidativos. O equipamento comportou-se bem diante dos testes, e o objetivo do trabalho foi atingido com êxito.

**PALAVRAS-CHAVE**: Ozônio, tratamento de efluentes, descarga corona, *flyback*.

## DEVELOPMENT OF A LOW COST OZONE GENERATOR FOR TREATMENT OF WATER CONTAMINATED WITH DYE

**ABSTRACT**: In view of the various types of effluent treatment aimed at extracting dyes from industrial water, including: Electroflocculation, Adsorption, chemical precipitation, activated sludge, among others, water treatment using ozone is a more efficient alternative than chlorine, as it does not generate waste, which makes it sustainable for the environment, increases the level of dissolved oxygen and improves turbidity and water color. The aim of this study is to promote the treatment of water contaminated with dyes, aiming at the clarification and purity of water, through a prototype using an ozone Generator. This works through a Corona discharge, generated by a flyback converter, applied in oxidative processes. The equipment behaved well under the tests, and the objective of the work was successfully achieved.

**KEYWORDS**: Ozone, wastewater treatment, corona discharge, flyback.

## 1 I INTRODUÇÃO

Desenvolver novas tecnologias e métodos para promover o tratamento de água é uma necessidade cada dia mais evidente.

Os corantes, fonte de estudo deste presente trabalho, estão presentes no cotidiano da sociedade nas indústrias alimentícias, têxteis, farmacêutica, fotográfica, automobilística, de papel, entre outros. Atualmente, a indústria têxtil representa 10% do PIB Industrial, além de corresponder a 2,3% do PIB (Produto Interno Bruto) do país. De acordo com a ABIT(Associação Brasileira de Indústria Têxtil) há cerca de 27,5 mil empresas no ramo têxtil instaladas por todo o território brasileiro (ABIT, 2021).

Em consonância a isso, a indústria têxtil também é umas das maiores fontes geradoras de resíduos contaminados com corantes, além da elevada quantidade de água utilizada na lavagem dos tecidos. Esses efluentes devem ser tratados para que atendam às exigências sanitárias, para que se atinja eficiências satisfatórias devem ser utilizados métodos diferentes, uma vez que um método pode tratar a coloração da água, já o outro tratar o pH, e assim por diante.

Atualmente, o ozônio é considerado um importante processo oxidativo avançado, uma vez que reage com uma gama de compostos orgânicos devido ao seu potencial de oxidação , superior ao de compostos considerados oxidantes, podemos citar: e o próprio cloro com (KUNZ, et al.,1999; ROBINSON, et al., 2001).

É importante destacar que o ozônio já vem sendo utilizado em diferentes tipos de aplicações dentre elas: tratamento de água potável, tratamento de efluentes domésticos e industriais, processos de branqueamento de celulose, processo de conservação de alimentos/bebidas, piscicultura, controle de odor e de cor, controle biológico e esterilização, entre outros. Além disso, a ozonização é muito utilizada para tratamento de efluentes da indústria têxtil, celulose e laticínios, uma vez que visam a redução da toxicidade dos efluentes e a degradação dos compostos orgânicos presentes nas águas residuárias.

A partir disso, esse trabalho objetiva construir um Gerador de ozônio de baixo custo, visando promover o tratamento de águas contaminadas com corantes, de variados tipos, ozônio produzido devido a descarga Corona, gerada por um flyback de televisores antigos.

O ozônio pode ser obtido através de três métodos: processos eletroquímicos; raios ultravioletas, e através de descargas elétricas, esse método é o mais utilizado devido a elevada eficácia e acessibilidade aos componentes do equipamento. O método escolhido neste presente trabalho é a produção de ozônio a partir de descargas elétricas.

O processo de descarga elétrica consiste em aplicar uma diferença de potencial (ddp) nos eletrodos do reator. Essa ddp pode ser obtida utilizando-se um conversor flyback, ligado a um oscilador de alta frequência, dessa forma o flyback atua como um transformador de alta tensão (LOPES, 2016).

Visando comprovar a eficiência do gerador de ozônio construído, serão realizados posteriormente testes: Titulação Iodométrica, testes de pH, absorbância, e demais testes de qualidade da água.

O projeto se fosse aplicado para escala industrial seria um equipamento de alto valor agregado. Porém o retorno desse investimento (Payback) seria rápido, devido ao gasto em tratamento de água e a posterior economia nesse processo.

Busca-se na próxima etapa do artigo trazer uma breve explicação sobre a formação do ozônio quando o oxigênio é exposto a descarga elétrica e como esta descarga pode ser gerada, comparar os métodos mais comuns de tratamento de águas contaminadas, verificar qual possui mais pontos positivos (Comparativo entre cloro e ozônio), além de pontuar fatores como resíduos físicos, químicos e recursos hídricos. Já a metodologia detalha a construção do gerador e os métodos analíticos físico-químicos usados para identificar a geração do ozônio e a eficiência na remoção de corantes.

## 2 | REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Resíduo Químico - Corantes

A indústria têxtil é um dos ramos que possuem uma grande atuação no Brasil e no mundo, tornando-se um setor da indústria de alto valor. Em 2013, segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil, relatou que a indústria têxtil ocupava o segundo lugar, nos setores que mais empregam no Brasil, ficando somente atrás do setor de bebidas e alimentos (ABIT, 2021).

Por sua vez, o processo da indústria têxtil, requer um alto consumo de água, consequentemente o volume de descarte ao meio ambiente dos resíduos gerados seja também em um número bem elevado. Os rejeitos derivados desta produção pode ser tanto resíduos sólidos ou resíduos químicos, onde que ambos acabam danificando o meio ambiente, por carregar diversas substâncias danosas, uma delas acaba sendo causada pelo tingimento através dos corantes utilizados, onde acabam sendo um dos rejeitos que mais ataca o meio ambiente, por possuírem um nível de degradação muito baixo e com altos níveis de toxicidade. Ao longo dos anos, estudos e tecnologias foram desenvolvidas para que possam ser feitos para uma melhoria na remoção dos corantes nos rejeitos, para que possa ocorrer prevenção de danos ao meio ambiente(CASTILHOS, 2015).

A estimativa de produção mundial de corantes é de 800.000 toneladas ao ano, sendo que aproximadamente em 15 % desta produção acabam sendo descartados no meio ambiente, se tornando mais uma forma de degradação ao nosso planeta. Com muito realizado os rejeitos são descartados em rios, lagos e córregos diariamente (PEIXOTO, MARINHO e RODRIGUES, 2013).

### 2.2 Comparação entre o cloro e o ozônio

O processo de tratamento de água mais comumente utilizado é por meio da cloração,

porém há alguns pontos negativos deste método quando comparado ao ozônio. O ozônio atua na destruição dos microrganismos diretamente na parede celular, o que ocasiona sua ruptura. Já o cloro atua através da parede celular, por difusão, para agir sobre os elementos essenciais (enzimas, proteínas, DNA e RNA) no interior da célula.

Comparando as principais ações quanto à aplicação de cloro e ozônio, observa-se que características essenciais quando trata-se de corantes de qualquer tipo, a remoção de cor, efeito de pH, atividade destrutivas contra algas, protozoários, fungos e moléculas orgânicas, apesar de possuir custo elevado de investimento.

## 2.3 Característica do ozônio

O ozônio, forma triatômica do oxigênio, é um gás incolor de odor pungente, pouco estável e parcialmente solúvel na água (HILL e RICE, 1982). Além disso, é um poderoso oxidante e muito rápido na inativação de bactérias. O ozônio tem 1,5 vezes maior poder de oxidação que o cloro e é até 1500 vezes mais rápido na desinfecção, além de ser facilmente absorvido pela água (SNatural e Naturaltec, 2021).

| Desinfetantes | Potencial de Oxidação (volts) | Poder relativo de Oxidação* |
|---|---|---|
| Ozônio | 2,07 | 1,52 |
| Peróxido de hidrogênio | 1,77 | 1,30 |
| Hipoclorito | 1,49 | 1,10 |
| Cloro | 1,36 | 1,00 |
| Dióxido de cloro | 1,27 | 0,00 |
| Oxigênio | 1,23 | 0,00 |
| *Baseado no cloro como referência (=1,00) | | |

Tabela 1 – Potencial de Oxidação dos desinfetantes mais comuns para tratamento de águas residuárias.

Fonte: Snatural, 2021.

O ozônio vem sendo muito utilizado no tratamento e desinfecção de águas, devido a duas características principais de acordo com a Tabela 1: é um forte agente oxidante (2,07 V) e não é um poluente. Ou seja, ele pode oxidar uma série de compostos inorgânicos e orgânicos, além de possuir como produto preferencial de degradação o oxigênio, composto não poluente e indispensável para as atividades biológicas aeróbias dos ecossistemas aquáticos. Outros oxidantes normalmente empregados, costumam levar à formação de subprodutos (íons de metais pesados e compostos organoclorados, respectivamente) que podem ser inclusive mais tóxicos que os compostos poluentes originais (MAHMOUD, 2007).

Por ser um gás instável, o ozônio não pode ser armazenado, sendo assim é necessário produção local em fluxo contínuo. Entre os diferentes processos de geração

de ozônio, a utilização da descarga elétrica (ou efeito corona) é o mais utilizado na maioria dos geradores de ozônio comerciais. Isso acontece devido à maior taxa de conversão do oxigênio em ozônio.

## 2.4 Tecnologias aplicadas à geração de ozônio

O ozônio pode ser produzido por três métodos: Eletrólise (eletroquímica); Radiação Ultravioleta (fotoquímica); e Descarga Elétrica (Corona), essas três formas serão descritas abaixo.

### *2.4.1 Eletrólise*

No processo eletroquímico, ou também conhecido como eletrólise, o ozônio é obtido a partir da molécula de água por meio de uma reação eletroquímica, conforme equação (I). Esse método apresenta uma fonte alternativa que permite a obtenção de grande quantidade de ozônio na fase gasosa.

**Equação (I)** $O_2(g)+H_2O \Leftrightarrow O_3(g)+2H^+ +2e^-$;

### *2.4.2 Radiações Ultravioletas*

O ozônio é obtido através de radiações ultravioletas, sendo um método fotoquímico, no qual a energia é fornecida pela luz. A molécula de oxigênio absorve radiação eletromagnética promovendo a sua dissociação. Os raios são suficientemente intensos, capaz de separar os dois átomos de oxigênio. A partir disso, os átomos de oxigênio produzidos reagem com uma molécula de oxigênio vizinha, na presença de um catalisador, formando ozônio (FRANCO, D.V., 2005).

**Equação (II)** $O+O_2 \Leftrightarrow \mathrm{w} O_3$;

### *2.4.3 Descargas Elétricas*

A produção de ozônio por meio de descargas elétricas, mais conhecidas como descargas Corona, atualmente é o procedimento mais utilizado para gerar ozônio em escala industrial, em larga escala, com menor custo dentre os outros métodos citados. Isso ocorre por esse método fornecer as maiores concentrações de ozônio de acordo com o nível de energia elétrica aplicada. Portanto com as características citadas optou-se pelo método de descargas elétricas (efeito corona) para a geração do ozônio através do protótipo.

O ozônio é gerado através de uma descarga elétrica aplicada em um reator de ozônio (parede de tubo de inox separados por um meio dielétrico de cerâmica ou vidro e uma abertura para passagem do gás aplicado), através destes tubos aplica-se uma descarga elétrica de alta tensão juntamente com um fluxo de ar seco. A partir disso o oxigênio aplicado é convertido em ozônio, um poderoso gás oxidante, conforme equação

(III). (SCHIAVON, *et al.*, 2014)

**Equação (III***) $3O_2 \Leftrightarrow 2O_3$*;

Esse tipo de descarga é um fenômeno que ocorre nas regiões de campos elétricos não uniformes de alta intensidade, principalmente nas pontas e bordas ou fios submetidos à tensão elétrica. Basicamente, pode-se classificar as correntes de descarga em Relativamente altas, ou seja, possivelmente ocorra na forma de uma descarga luminescente. Em contrapartida, as descargas classificadas como relativamente baixas, uma descarga corona denominada de descarga elétrica silenciosa.

O efeito corona ocorrer ao aplicar-se uma tensão excedente ao potencial de ionização do material dielétrico, representado nesta figura pelo ar, os elétrons livres são impulsionados a alta velocidade, e rompem as duplas ligações por meio do impacto das moléculas de oxigênio presentes no ar.

A reação de geração de ozônio é iniciada quando os elétrons livres provenientes da descarga corona causam a dissociação das moléculas de oxigênio, em seguida os átomos de oxigênio se reagrupam e formam o ozônio (conforme Equações (III) e (IV). Durante a geração de ozônio, uma quantidade considerável de calor é liberada, por isso é fundamental que o gerador seja adequadamente resfriado, a fim de maximizar a produção de ozônio (SCHIAVON, *et al.*, 2014).

Dentre as alternativas para geração de descarga elétrica, tem-se as opções do oscilador de alta frequência atua como um excitador de frequência, este pode ser um oscilador *Hartley*, bobinas de ignição (automotiva), reator de lâmpadas fluorescentes, entre outros. O ozônio é gerado pelo efeito corona, ou seja, uma descarga elétrica de alta tensão em um tubo de inox, este é chamado de reator de ozônio. Aplica-se uma descarga elétrica de alta tensão junto ao fluxo de ar, este é gerado por um compressor de aquário. Dentro do reator, o oxigênio faz um escoamento laminar passando por um processo de descarga elétrica pulsante, gerada por meio de um conversor *flyback* elevador de tensão (SCHIAVON, *et al.*, 2014).

Esta tensão ao exceder o potencial de ionização do material dielétrico, faz com que os elétrons livres sejam impulsionados a altas velocidades, rompendo por meio do impacto as ligações duplas das moléculas de oxigênio ($O_2$) presentes no ar. Esses átomos são rearranjados em três moléculas de oxigênio (O), formando assim a molécula de ozônio ($O_3$).

Basicamente a reação ocorre em duas etapas: (Equação III) Dissociação do gás Oxigênio ($O_2$) gerada devido aos elétrons livres gerados pela descarga, (Equação IV) o átomo de Oxigênio (O) junta-se à uma molécula de ($O_2$), formando o Ozônio ($O_3$).

**Equação (IV***) $e^- + O_2 \Rightarrow 2O + e^-$***;**

## 3 I MATERIAIS E MÉTODOS

A escolha da construção do reator foi com o objetivo de desenvolver um protótipo de um gerador de ozônio eficiente, mas ao mesmo tempo de baixo custo, uma vez que a aquisição e o acesso de um equipamento desse já pronto não era possível devido aos altos custos. A construção do reator de ozônio foi realizada em três etapas sendo elas a construção do filtro secante, câmara de ozônio e componentes elétricos.

### 3.1 Filtro Secante

Para a construção do filtro secante foram utilizados os seguintes equipamentos e materiais: sílica gel; tubo de PVC (30cm comprimento, 4cm de diâmetro); adaptador (4cm de diâmetro); tampão de saída (4cm de diâmetro); mangueira para compressor de aquário (4 mm de diâmetro); mangueira de inalador (6mm de diâmetro); adaptador de mangueira (6mm de diâmetro); cola araldite; fita veda-rosca; furadeira; e broca de aço (6mm).

A montagem do filtro se iniciou-se com a utilização da cola araldite para realizar a colagem e encaixe do tubo de PVC com o adaptador, posteriormente realizou-se um furo no centro de ambos tampões, com o auxílio de uma furadeira com uma broca de aço de 6 mm, para a colagem do adaptador de mangueira, sendo assim possível que ocorra um fluxo de entrada e saída pelo do tubo. Para finalizar a primeira etapa da construção do reator, ocorreu o tempo de secagem das peças coladas, aproximadamente por 15 minutos. Após a secagem das peças o tubo de PVC foi preenchido seu volume com a sílica gel, finalizando, com o uso da fita veda rosca para vedar o fechamento dos tampões com os adaptadores.

### 3.2 Câmara de ozônio

Para a construção da câmara de ozônio foram utilizados os seguintes equipamentos e materiais: tubo de Inox (30cm de comprimento, 4cm de diâmetro); fio de arame inox (50cm de comprimento); tubos de vidro (8mm de diâmetro); placa de acrílico (5mm de espessura); furadeira; broca de aço (8mm); e broca serra copo (4mm). A montagem da câmara de ozônio se iniciou com o preparo das peças de acrílico, com o auxílio de uma furadeira e de uma broca serra copo, divide-se a placa de acrílico em 4 peças circulares, para utilizar como tampa do tubo de inox. Posteriormente realizou-se um furo ao centro de cada peça circular, onde o fio de arame de inox passará.

A próxima etapa da construção da câmara é composta pelo corte dos tubos de vidro em que as duas peças foram posicionadas no centro do acrílico e outras duas peças coladas na borda, sendo usada como entrada do oxigênio e saída do ozônio. A presente necessidade dos tubos ao centro é com efeito de impedir que a alta tensão tenha contato com a peça de acrílico, pois ocorre o aquecimento das mesmas e consequentemente o derretimento. Este passo necessitou de uma atenção dobrada, pois com o auxílio de um cortador de vidro com ponta de diamante, realizou o corte de 4 tubos, sendo duas peças

com o comprimento de 5cm e outras duas com o comprimento de 10cm. Com a furadeira e a broca de 8mm realizou um furo passante para que sejam as entradas e saídas da câmara.

Com o uso da cola araldite cola-se os tubos menores ao centro do acrílico, já os tubos com maior comprimento foram posicionados na borda através do furo, previamente já efetuado. Após os tubos de vidro posicionados, esperou-se por volta de 15 minutos para que a cola pudesse secar. Em seguida, passe-se o fio de arame através de uma das peças de acrílico, realizando um nó na ponta do arame, para como finalidade de travamento, posteriormente coloca-se a peça de acrílico em uma das extremidades do tubo de inox, realizando o mesmo procedimento na outra extremidade do tubo. Ao realizar o travamento do fio de arame houve uma atenção para que o mesmo permaneça o máximo possível esticado ao longo do tubo.

## 3.3 Componentes elétricos

A parte eletrônica e/ou elétrica do projeto do gerador de ozônio consiste na parte principal, uma vez que todas as demais dependem destas para funcionarem. Os componentes elétricos/eletrônicos são divididos em três partes: *Flyback*, placa controladora de frequência (Hz), uma fonte de alimentação e um compressor de ar.

## 3.4 Flyback

O *Flyback*, conforme a Figura 1, como já citado anteriormente, é um componente presente em televisores de 'tubo' (CRT). Neste projeto ele tem a função de gerar a alta tensão que posteriormente, transformará o oxigênio em ozônio.

Além disso, realizou-se um enrolamento do tipo bobina no secundário do *Flyback*, ou seja, a corrente de entrada e saída da placa é a mesma.

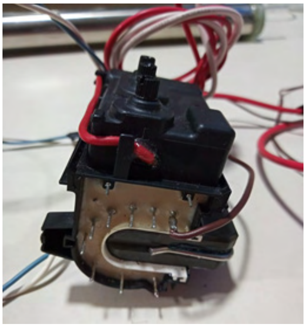


Figura 1 - Flyback utilizado no projeto.

Fonte: Próprio autor.

## 3.5 Placa controladora de frequência

Essa placa é constituída dos seguintes componentes: 2 resistores de 1kΩ, 1 resistor de 120Ω, 1 capacitor cerâmico de 10nF, 1 transistor 10N80 (MOSFET), 1 potenciômetro de 10kΩ, 1 CI M555, além de um dissipador de calor. A primeira etapa foi realizada a corrosão da placa de circuito impressa com o uso de Água Oxigenada e Ácido Muriático. Em seguida, soldou-se os componentes a uma placa de circuito impresso. Esse componente possui a principal função de regular e controlar a frequência em hertz das centelhas, ou seja, a descarga elétrica que é gerada através de um gás ionizado.

## 3.6 Fonte de Alimentação e Compressor de ar

Utilizou-se uma fonte de corrente contínua de 6V, 50/60Hz e 2160mA. Essa fonte está ligada à placa controladora de frequência e gera a corrente que alimenta o *Flyback*. Outro ponto de suma importância foi o uso do Compressor de Ar, modelo utilizado em aquários de até 150 litros, este possui as seguintes especificações: Potência de 2,8W; 127V; Vazão de 4 litros/minuto e marca: *Boyu*. Este compressor é responsável pela alimentação do oxigênio no interior da câmara de Ozônio.

## 3.7 Análises

### *3.7.1 Titulometria Iodométrica (Iodometria)*

Titulação é um processo que ocorre a partir de duas soluções, sendo uma delas de concentração conhecida, geralmente denominada de solução padrão ou titulante a outra é denominada de analito ou titulado a qual deseja encontrar a sua concentração. A solução padrão é titulada com o analito. Existem requisitos para uma solução padrão ser considerada, com características específicas como: composto contendo um alto grau de pureza sendo 99,9% ou acima, fácil obtenção, estabilidade ao ambiente e baixo custo. Outro ponto de grande importância para as titulações são os indicadores, são através dessas soluções adicionadas no analito que apresentam o fim da titulação, com mudança visual na coloração.

A Iodometria é um método volumétrico em que o excesso de íons iodeto são adicionados à uma solução que contém um agente oxidante, que irá reagir produzindo uma quantidade equivalente de iodo que, posteriormente será titulado com uma solução padronizada de tiossulfato de sódio.

Para a constatação da geração do ozônio através da titulação Iodométrica é necessário realizar o preparo das soluções de Iodeto de Potássio, Tiossulfato de Sódio, Solução de Ácido Sulfúrico e Solução de Amido 1%.

### 3.7.2 Preparo das Amostras

Para iniciar o experimento é necessário o preparo de 1 litro da solução de Iodeto de Potássio com concentração de 20g/l que deverá ser alocada em um vidro âmbar. Em seguida, preserva-se 100ml de solução de Tiossulfato de Sódio com concentração de 0,005N, previamente padronizada, em um béquer de 250ml. Posteriormente preserve 100ml de Ácido Sulfúrico 2,0N e por fim 20ml de solução de amido 1%.

### 3.7.3 Borbulhamento e Titulação

A continuidade do procedimento é o borbulhamento do ozônio gerado pelo protótipo, em 20ml de solução de Iodeto de Potássio. Este passo foi realizado de forma contínua em ciclos de tempos ininterruptos de exposição da solução de Iodeto de Potássio ao ozônio de 15 e 60 minutos, para que de modo possa haver uma correlação da geração do ozônio ao longo do tempo.

Iniciou-se pelo ciclo de 60 minutos de exposição da solução de Iodeto de Potássio alocado em um *erlenmeyer* ao ozônio. Após o término do ciclo de borbulhamento adiciona-se 10ml de ácido sulfúrico na solução borbulhada para finalidade de acidificar a solução, em seguida adicione 2ml de amido para agir como o indicador. Após adicionar o amido notará que a solução apresentará uma coloração azulada, posteriormente titule a mesma com o Tiossulfato de Sódio alocado na bureta previamente, até a coloração azulada fique totalmente incolor, determinando por assim o término da titulação. Anote o valor gasto de volume na bureta para cálculos.

O procedimento acima deverá ser repetido para o restante dos ciclos de exposição e o mesmo realizado em triplicata por ciclo.

### 3.7.4 Análise da água após tratamento

As análises que serão abordadas após o processo de ozonização para o levantamento de resultados são pH e espectrometria.

#### 3.7.4.1 pH

O pH é definido como potencial hidrogeniônico de uma solução, sendo caracterizado como um parâmetro físico, que possibilita avaliar condições como alcalinidade e acidez da água. As medições foram realizadas em um pHmetro e para fonte de comparação também serão utilizadas fitas para medição de pH. O objetivo desta análise é verificar como as soluções com corantes se comportam após serem ozonizadas, sendo realizadas medições antes e após o tratamento. Com o auxílio de um pHmetro de bancada da marca Bel do modelo PHS3-BW, disponibilizado pela faculdade, realizou-se a leitura de pH das amostras

antes e após o processo de ozonização.

#### *3.7.4.2 Espectrofotometria*

Para realizar as análises de cor e absorbância após o processo de ozonização, utilizou-se um Espectrofotômetro do modelo UV-M51 e marca Bel visando medir a intensidade da luz em comprimentos de onda que uma determinada substância possui, sendo assim, o conceito de absorção de luz está diretamente relacionado com a concentração de soluções. Esse tipo de análise tornou-se ideal para averiguação da eficiência do tratamento de águas contaminadas com corantes, uma vez que nem sempre é possível avaliar a qualidade de uma solução apenas visualmente.

## 4 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Reator de Ozônio

#### *4.1.1 Filtro secante e Câmara de Ozônio*

Quanto aos resultados obtidos na montagem do filtro secante e a câmara de ozônio foram satisfatórios, uma vez que estes componentes não contavam com alto nível de dificuldade para a preparação manual deles, conforme na Figura 2. Antes de iniciar a construção do Filtro Secante, foi avaliada a possibilidade de utilizar um tubo de vidro no lugar do tubo de PVC, uma vez que devido sua transparência seria melhor para avaliar a qualidade e integridade da Sílica em seu interior. Porém, devido à dificuldade de realizar cortes em material de vidro, essa ideia foi descartada e escolhido o PVC.

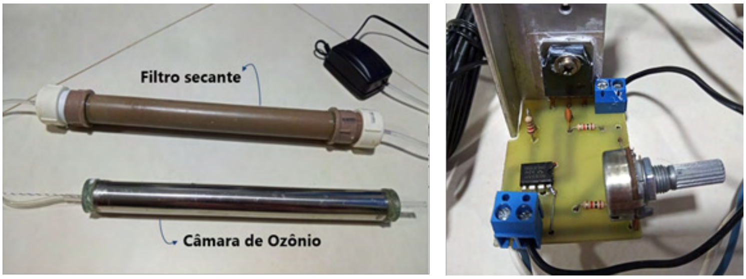



Figura 2- Na esquerda, Câmara de Ozônio e Filtro secante, a direita, Placa controladora de frequência, ambos componentes do Gerador de Ozônio.

Fonte: Próprio autor.

### 4.1.2 Placa controladora de frequência e Flyback

Quanto à Placa Controladora de frequência, conforme a Figura 2, foi a etapa mais difícil de construção, uma vez que o que foi feito inicialmente necessitou de ajustes e retiradas de alguns componentes, além da substituição do Transistor por outro para que evitasse que queimasse quando a placa fosse ligada ao *Flyback*.

Para o teste de funcionamento da parte elétrica e/ou eletrônica foi importante a percepção da geração das Centelhas, desta maneira foi comprovado que a ligação entre a placa controladora e o *Flyback* está funcionando perfeitamente e pode-se partir para a próxima etapa e montagem final do protótipo.

### 4.1.3 Montagem do protótipo - Gerador de Ozônio

Por fim, foi realizada a montagem do protótipo com todos os componentes já finalizados anteriormente, a interligação do gerador conta com os componentes eletrônicos (*Flyback* e Placa controlada de frequência), compressor de ar, câmara de ozônio, filtro secante e as mangueiras responsáveis por transferir o ar de um componente ao outro. Além disso, foi feito uma estrutura em MDF e vidro para alocação do equipamento, a escolha das paredes transparentes deve-se ao fato da fácil visualização, conforme a Figura 3. Outro fator de suma importância foi isolar o equipamento, uma vez que a alta tensão é fonte de risco para quem manuseá-lo.



Figura 3 - Gerador de Ozônio finalizado.

Fonte: Próprio autor.

Quanto ao fato de o equipamento ter como proposta inicial apresentar baixo custo, foram levantados os gastos com os componentes utilizados em sua montagem final. É importante ressaltar que alguns componentes foram doados e outros foram comprados na internet, ou seja, os valores são estimados, podendo haver variação quanto aos valores. Nota-se que o gasto final para construção do equipamento foi estimado entre R$290 à R$300,00, conforme a Tabela 2.

| Componente do Equipamento | Valores gastos (R$) |
|---|---|
| Placa Eletrônica, Flyback e Fonte de Alimentação | 85 |
| Compressor de Ar | 35 |
| Câmara de Inox | 50 |
| Filtro Secante | 45 |
| Suporte para Equipamento | 50 |
| Outros (mangueiras, adaptadores, entre outros) | 25 |

Tabela 2 –Valores estimados gastos com a montagem final do equipamento.

Fonte: Próprio autor.

## 4.2 Análises

### *4.2.1 Titulometria Iodométrica (Iodometria)*

A Titulação Iodométrica foi a primeira análise realizada após o uso de equipamento. Realizou-se em triplicata para três tempos de borbulhamento: 15, 30 e 60 minutos. Nota-se na Figura 4 que quanto maior o tempo de exposição do ozônio na solução de Iodeto de Potássio, mais amarelado ficará a solução por conter maior concentração de ozônio.




Figura 4 - Antes e depois das Titulações [1] 15 min; [2] 30 min e [3] 60 min.

Fonte: Próprio autor.

Utilizou-se a fórmula (Equação V) para cálculo do ozônio produzido, método descrito por (EATON et al. 2000).

**Equação (V)** Ozônio produzido (mg/min) = ;

Sendo A = volume titulado (ml); N = normalidade do Tiossulfato de Sódio e T = tempo do borbulhamento do gás (minutos).

| Titulação Iodométrica | | | |
|---|---|---|---|
| Tempo (min) | Volume titulado (mL) | $O_3$ (mg/min) | Média $O_3$ (mg/min) |
| 15 | 21,2 | 0,170 | 0,173 |
| | 22,5 | 0,180 | |
| | 21,5 | 0,172 | |
| 30 | 38,0 | 0,152 | |
| | 37,6 | 0,150 | |
| | 37,6 | 0,150 | |
| 60 | 97,1 | 0,194 | |
| | 96,8 | 0,194 | |
| | 96,7 | 0,193 | |

Tabela 3 –Resultados obtidos da Titulação Iodométrica.

Fonte: Próprio autor.

Para os três ciclos de tempos que foram definidos, realizou-se o experimento três vezes, obteve-se um valor de variância de 0,00035 e um desvio padrão de 0,01875 para a quantidade de ozônio produzida (mg/min). Esses valores evidenciam que o ciclo de geração de Ozônio do equipamento é constante e consistente. Na Tabela 3, consta os dados obtidos na titulação.

## 4.3 pH

Quanto à análise de pH das amostras, foi realizada com um pHmetro de bancada com as amostras tratadas com o ozônio gerado pelo equipamento, obteve-se os dados da Tabela 4.

| | Corante | Tempo (min) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 15 | 30 | 45 | 60 |
| pH | Azul Têxtil | 7,77 | 7,88 | 7,80 | 7,60 | 5,97 |
| | Azul Alimentício | 9,25 | 8,75 | 8,88 | 8,67 | 8,47 |
| | Vermelho Têxtil | 9,20 | 8,70 | 8,60 | 8,56 | 8,57 |
| | Vermelho Alimentício | 8,02 | 7,91 | 7,99 | 7,96 | 7,91 |

Tabela 4 –Resultados de pH obtidos das amostras após exposição ao Ozônio.

Fonte: Próprio autor.

Nota-se que apesar da inconstância dos valores de pH obtidos, o experimento obteve resultado de acordo com a literatura, uma vez que, os valores iniciais e finais das amostras diminuíram consideravelmente. Esse resultado pode ter ocorrido devido ao equipamento utilizado, ou a variação na calibração do equipamento, ou à instabilidade do gás ozônio, este se decompõe rapidamente.

## 4.4 Espectrofotometria

Para essa análise utilizou-se um espectrofotômetro, de início, foi realizada as curvas de calibração dos 4 tipos de corantes que foram utilizados nos experimentos, sendo eles: Corante Azul do tipo Têxtil, Corante Vermelho do tipo Têxtil, Corante Azul do tipo Alimentício e Corante Vermelho do tipo Alimentício. Para isto, foi necessário realizar quatro diluições: Amostra 1 (0,02g/L); Amostra 2 (0,008g/L); Amostra 3 (0,004g/L); Amostra 4 (0,002g/L). A construção dessa curva de calibração serve como base para a configuração do Espectrofotômetro com o correto Comprimento de Onda (nm) de cada corante.

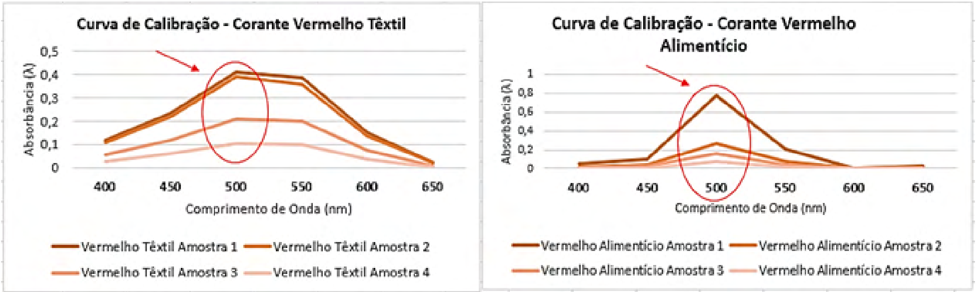



Figura 5 - A esquerda, Curva de Calibração do Corante Vermelho Têxtil. A direita, Curva de Calibração do Corante Vermelho Alimentício.

Fonte: Próprio autor.

Para os Corantes Vermelhos de acordo com a Figura 5, os comprimentos de onda (nm) mais adequado para leitura no Espectrofotômetro seria o de 500nm.

Nota-se na Figura 6, que apesar dos Corantes Azuis serem da mesma tonalidade de cor e tipos diferentes de aplicações, os mesmos possuem diferentes comprimentos de ondas que se adequam melhor aos seus tipos, sendo o comprimento de onda para o Corante Têxtil de 600nm e Alimentício de 650nm. Os quatro corantes expostos ao ozônio possuíam igual concentração de 0,025g/L.

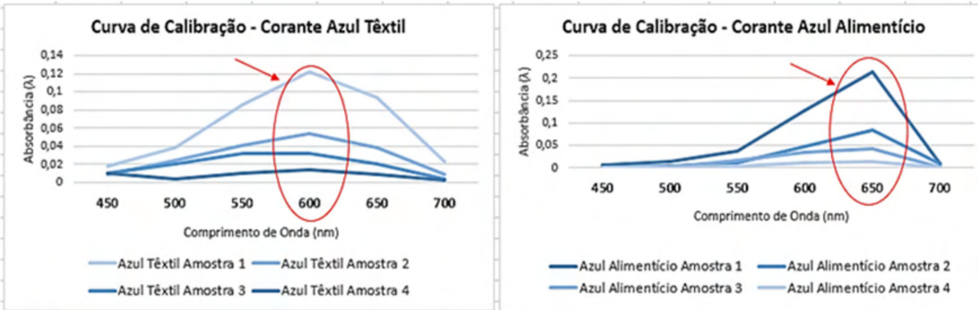



Figura 6 - A esquerda, curva de calibração do corante vermelho têxtil. A direita, curva de calibração do corante vermelho alimentício.

Fonte: Próprio autor.

Dentre os corantes vermelhos apresentados na Tabela 5, o corante têxtil foi degradado em cerca de 80,1% na amostra estudada, já o corante alimentício foi degradado em 76,7%.

| | Tempo (min) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 15 | 30 | 45 | 60 | |
| Absorbância (λ) | 0,957 | 0,264 | 0,213 | 0,203 | 0,183 | Vermelho Têxtil |
| Concentração (g/L) | 0,054 | 0,0074 | 0,004 | 0,0034 | 0,002 | |
| Absorbância (λ) | 0,662 | 0,394 | 0,253 | 0,175 | 0,154 | Vermelho Alimentício |
| Concentração (g/L) | 0,017 | 0,0098 | 0,0062 | 0,0042 | 0,0036 | |

Tabela 5 –Resultados de Absorbância (λ) e Concentração (g/L) dos corantes vermelhos das amostras colhidas durante exposição ao ozônio.

Fonte: Próprio autor.

Portanto, o corante têxtil obteve maior porcentagem de degradação de cor, dentre os dois tipos, sendo possível verificar a degradação dos corantes visual, conforme a Figura 7.

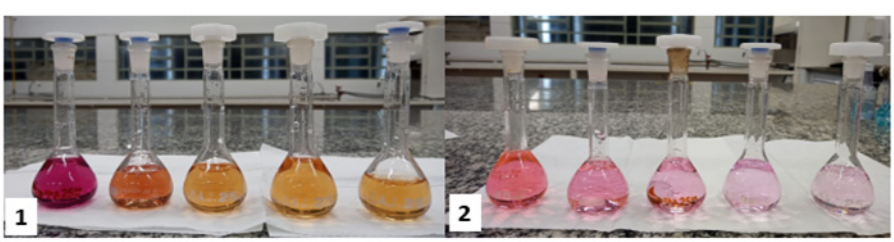



Figura 7 - Aspecto visual das amostras de corantes após degradação quando exposto ao ozônio - [1] Corante vermelho têxtil [2] Corante vermelho alimentício.

Fonte: Próprio autor.

Já para os corantes azuis, conforme Tabela 6, a taxa de degradação de cor praticamente se igualou em 91,8% nas amostras estudadas**.**

| | Tempo (min) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 15 | 30 | 45 | 60 | |
| Absorbância (λ) | 0,123 | 0,0213 | 0,0112 | 0,0167 | 0,0167 | Vermelho Têxtil |
| Concentração (g/L) | 0,02 | 0,0026 | 0,0009 | 0,0007 | 0,0007 | |
| Absorbância (λ) | 0,085 | 0,0315 | 0,0134 | 0,0116 | 0,0072 | Vermelho Alimentício |
| Concentração (g/L) | 0,007 | 0,0024 | 0,0007 | 0,0005 | 0,0002 | |

Tabela 6 – Resultados de Absorbância (λ) e Concentração (g/L) dos Corantes Azuis das amostras colhidas durante exposição ao Ozônio.

Fonte: Próprio autor.

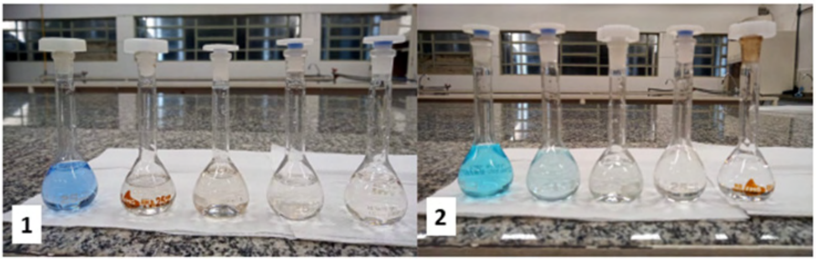



Figura 8 - Aspecto visual das amostras de corantes após degradação quando exposto ao ozônio - [1] Corante Azul Têxtil [2] Corante Azul Alimentício.

Fonte: Próprio autor.

Por fim, dentre os quatro corantes estudados, os dois corantes azuis apresentaram os melhores desempenhos, uma vez que, obtiveram taxas de degradação de aproximadamente 91,8%, sendo possível visualizar a partir da Figura 8, que a degradação ao longo do processo de ozonização foi superior aos corantes de cor vermelha**.**

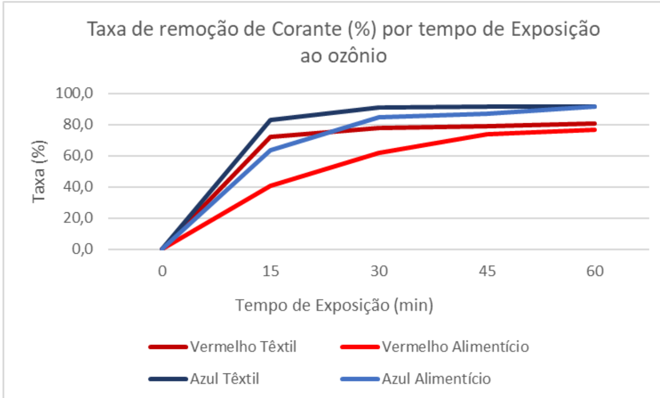



Figura 9 - Taxa de remoção de cor dos corantes em exposição ao Ozônio.

Fonte: Próprio autor.

Diante do presente estudo, os dados obtidos na Figura 9, evidencia que os corantes azuis possuem uma taxa de degradação superior aos corantes vermelhos, independentemente do tipo dos corantes estudados. Os corantes vermelhos apresentam valores de absorbâncias elevados antes do processo de ozonização, entretanto nota-se que durante o período de exposição ao ozônio obteve-se quedas de 76% a 81% em relação à absorbância. Em contrapartida os corantes azuis estudados, possuíam inicialmente valores menores de absorbância antes da exposição ao ozônio, obteve-se ao longo do processo quedas na taxa de degradação de aproximadamente 91,8%, ou seja, essa cor apresentou uma melhor performance em relação de tempo de exposição ao ozônio.

Devido ao descarte inadequado dos resíduos gerados com corantes das indústrias têxtil e alimentícia, há a busca por metodologias eficazes e de baixo custo. Portanto permite-se um estudo com uma maior abrangência para a ozonização, sendo uma alternativa viável para tratamento de água com corantes, podendo assim melhorar a qualidade desta, para um descarte sem danos agressivos a natureza e aos seres humanos, podendo também ser empregada em reuso alternativos, tornando-se uma opção para as indústrias em tratamento dos seus resíduos.

## 5 I CONCLUSÃO

De acordo com os avanços nas tecnologias utilizadas em processo de remoção de corantes, mostra-se que os tratamentos oxidativos vem contribuindo com grande parcela para a qualidade da água que é despejada nos rios é possível haver uma reutilização após o tratamento.

Com o término dos ensaios de ozonização mostra-se que o protótipo desenvolvido obteve seu objetivo atingido, uma vez que apresentou boa performance quanto aos

resultados atingidos. Todavia ainda existe a possibilidade de pontos de futuras melhorias no equipamento, dentre elas: o aumento da quantidade de câmaras inox de ozônio aliada ao uso de compressor com maior vazão, são pontos que poderiam vir a aumentar a taxa de ozônio gerado.

Tendo em vista que dos parâmetros de análises no presente estudo foi o pH, conclui-se que os dados levantados com as amostras tratadas seguem um comportamento após o ciclo de ozonização de queda na alcalinidade, obtendo uma solução na faixa neutra de pH. Por toda via o pH, juntamente com o ozônio, contém uma instabilidade grande ao longo do tratamento, tendo isso em vista pode-se buscar metodologias e equipamentos mais adequados em análise para este parâmetro, sendo uma possibilidade de contratar um laboratório especializado em análises de água para realizar tais análises.

Com o foco na redução da concentração dos corantes das amostras estudadas, é possível concluir por meio dos resultados de absorbância, que houve a redução de concentração das mesmas, sendo satisfatório a pesquisa realizada. Os dados da absorbância explanam-se também que a cor azul indiferente ao tipo de corante, têxtil ou alimentício, possui uma degradação mais alta, em relação à cor vermelha, uma vez que ambas amostras foram expostas ao mesmo ciclo de tempo no processo de ozonização. Portanto, para os corantes que possuíam uma degradação mais lenta pode-se considerar modificações no protótipo já mencionadas ou acréscimo ao ciclo de ozonização.

## REFERÊNCIAS


ABIT. **Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção,** disponível em: https://www.abit.org.br/cont/quemsomos, acesso em 25/4/2021.

CASTILHOS, S. **Emprego de Ozonização para o Tratamento de Efluentes Têxtil**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, p. 55. 2015.

EATON, A. D. et al. **Standard methods for examination of water and wastewate**r, 20th Ed., American Public Health Assocoation, Washington DC, 2000.

FRANCO, D.V. (2005). "Investigação da eficiência da degradação oxidativa por via direta e indireta de corantes empregados na indústria têxtil com ozônio gerado eletroquimicamente". Uberlândia. Dissertação (Mestrado em Química). Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia. 110pp.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G. D.; DURÁN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, v.25, n.1, p.78-82, 2002.

LOPES, M. S. **Remoção do fármaco ácido mefenâmico em água via oxidação por cloro e por ozônio**. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, p. 10-23. 2016.

ROBINSON, T.; MCMULLAN, G.; MARCHANT, R.; NIGAM, P. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. **Bioresource Technology**, v.77, n.3, p.247- 255, 2001

MAHMOUD, Amira; FREIRE, Renato S.. **Métodos emergentes para aumentar a eficiência do ozônio no tratamento de águas contaminadas**. Quím. Nova, São Paulo v. 30, n. 1, p. 198-205, fev. 2007, disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422007000100032&lng=pt&nrm=iso, acessos em 25/4/2021.

PEIXOTO, F.; MARINHO, G.; RODRIGUES, K. Corantes Têxteis: Uma Revisão. **Holos**, v. 29, n. 5, p. 98-106, Janeiro 2013. Acesso em 28/4/2021.

SCHIAVON, G. J. et al. **Projeto e Análise de um Sistema Gerador de Ozônio para Remoção de Cor de Efluente Têxtil**. **Revista Ciência e Tecnologia**, [S.l.], v. 16, n. 28/29, jan 2014. ISSN 2236-6733, disponível em: http://www.revista.unisal.br/sj/index.php/123/article/view/297, acesso em 16/4/ 2021.

SNATURAL & NATURALTEC LTDA. **Ozônio – Desinfecção de Água e Efluentes – Tratamento com Ozônio**, disponível em: https://www.snatural.com.br/ozonio-tratamento-agua-desinfeccao-efluentes/, acesso em 25/04/2021.

# CAPÍTULO 17

# DETERMINAÇÃO DO TEOR DE LACTOSE POR MEIO DE GLICOSÍMETRO

**Danka Ayres Carvalho da Silva**
Universidade São Francisco
Campinas-SP
http://lattes.cnpq.br/4610085994523550

**Gabriel Luís Ehrenberg Malavazzi**
Universidade São Francisco
Campinas-SP
http://lattes.cnpq.br/6739474207142523

**Filipe Alves Coelho**
Universidade São Francisco
Campinas-SP
http://lattes.cnpq.br/7316975557784147

**Roberta Martins da Costa Bianchi**
Universidade São Francisco
Campinas-SP
http://lattes.cnpq.br/1178282277362723

**RESUMO:** O leite é um alimento muito importante para a manutenção da vida e da saúde do ser humano devido sua composição rica em proteínas, gordura, sais minerais e vitaminas. Pessoas com intolerância à lactose não realizam a hidrólise da lactose naturalmente, por isso, a fim de atender as necessidades dos diferentes tipos de consumidores, o leite zero lactose começou a ser produzido para atender essa demanda, permitindo o seu consumo sem gerar sintomas ou risco a saúde. Portanto, conhecer a quantidade de lactose presente nas substâncias lácteas é extremamente importante para evitar algum problema. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo quantificar a lactose presente em leites denominados zero lactose através do uso de um glicosímetro. Os resultados apresentados obtiveram uma média 0,8% de lactose em leites zero, indicando que as amostras analisadas estão dentro dos valores esperados e o glicosímetro pode ser uma alternativa para a quantificar a lactose.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lactose, Cloramina-T, Glicosímetro, Leite, Intolerância à lactose.

## DETERMINATION OF LACTOSE CONCENTRATION USING A GLUCOMETER

**ABSTRACT:** Milk is a very important food for the maintenance of life and health of human beings due to its rich composition in proteins, fat, minerals and vitamins. People with lactose intolerance do not perform lactose hydrolysis naturally, therefore, in order to comply with the needs of different types of consumers, lactose-free milk began to be produced to attend this demand, allowing its consumption without generating symptoms or causing health risks. Therefore, knowing the amount of lactose present in dairy substances is extremely important to avoid any problems. In this sense, this work aimed to quantify the lactose present in milks called zero lactose with the use of a glucometer. The results have shown an average of 0.8% of lactose in zero milk, indicating that the analyzed samples are within the expected values and the glucometer can be an alternative to quantify lactose.

**KEYWORDS**: Lactose, Chloramine-T, Glucometer, Milk, Lactose Intolerance.

## 1 | INTRODUÇÃO

### 1.1 A intolerância à lactose

A lactose é um carboidrato presente no leite e nos derivados lácteos, também é conhecida como o açúcar do leite, proporcionando o sabor levemente adocicado da bebida (KIRCHHOFF, 2020). É formada pela junção de duas outras moléculas de açúcares, a glicose e a galactose, e sua função é favorecer a absorção de cálcio no organismo reagindo com o oxigênio presente nas mitocôndrias, gerando energia celular (KIRCHHOFF, 2020).

A intolerância à lactose é um distúrbio que acomete cerca de 70% da população brasileira (BRUNA, 2014). Apesar desse número já ser significativo, ele ainda está em constante crescimento, e vários fatores podem contribuir com esse aumento por exemplo, o grande número de autodiagnósticos desse quadro clínico e a programação genética presente no ser humano para a diminuição da produção da lactase após a fase da infância, que continua durante todo resto da vida (MATTAR; MAZO, 2010; CUNHA et al., 2007 apud PEREIRA et al., 2012).

A hipolactasia, também conhecida como intolerância à lactose, não é considerada um transtorno ou doença pela comunidade médica, mas sim, uma deficiência do intestino delgado devido a não produção ou a diminuição da produção da enzima lactase, que é responsável pela quebra do açúcar (lactose) presente no leite (TENORIO, 2019). Não se deve confundir intolerância à lactose com alergia ao leite, visto que a intolerância causa desconfortos abdominais, cólicas e demais manifestações da hipolactasia no corpo de um ser humano e a alergia ao leite pode causar problemas respiratórios e outros sintomas como coceiras e vermelhidão na pele, e o seu consumo implica em uma reação do sistema imune em resposta ao leite (BRUNA, 2014).

A exclusão total do leite da dieta de pessoas com intolerância à lactose não é nutricionalmente aconselhada, visto que ele é fonte de vitaminas e sais minerais essenciais para o crescimento e desenvolvimento humano, bem como bem-estar do corpo ao longo da vida. O que, junto com o grande aumento de pacientes com hipolactasia, fez com que a indústria e mercado vissem a necessidade de se adaptar e inovar perante à nova realidade, disseminando os produtos sem lactose, uma alternativa para os pacientes com hipolactasia manterem os benefícios do leite, sem sintomas ou riscos à saúde. Também se criou opções de substitutos farmacológicos como lactase em comprimido para os que têm deficiência total da enzima ou dependem do leite para manutenção de sua saúde, além dos que preferem consumir o leite em sua forma natural. Com isso, cada vez mais se faz necessário o controle, regulamentação e a oferta desses produtos para demanda.

O limite de lactose que pode ser ingerido diariamente sem causar sintomas ou riscos para pessoas intolerantes varia, sendo então informações como a quantidade de lactose no produto e a veracidade das informações dos rótulos a respeito dos componentes e suas

respectivas quantidades de extrema importância para assegurar a qualidade de vida e saúde dessas pessoas. A constante inovação desses produtos zero lactose também se faz importante como forma de expandir e atender uma demanda com mais de uma restrição alimentar, como por exemplo, pessoas intolerantes à lactose que também necessitem de uma dieta baixa em gorduras.

Nesse cenário, a criação e implementação de novas metodologias que possibilitem aos consumidores de leite fabricados pelos mais variados tipos de produtores, desde os menores até os mais significativos no mercado, se faz importante, tanto para o controle da quantidade de lactose no produto (seja esse controle necessário ao produtor ou ao consumidor) quanto para manutenção da segurança alimentar de toda população, principalmente dos que necessitam de uma dieta restritiva.

## 1.2 Glicosímetros

Os glicosímetro (Figura 1) são modernas ferramentas de controle glicêmico que podem ser operadas pelo próprio paciente, com grande potencial de uso no auxílio à prevenção das complicações diabéticas (MIRA *et al*, 2006).



Figura 1. Glicosímetro em uso.

Fonte: (ROCHA, 2020)

Atualmente, a maioria dos sistemas portáteis de monitorização da glicose são capazes de obter a concentração da glicose em sangue total. Essa amostra de sangue é obtida por punção dos dedos das mãos, e é denominada de sangue capilar (NEGRATO, 2021). Os glicosímetros consistem de uma fita reagente que entra em contato com um reflectômetro, na maioria dos sistemas, a glicose do sangue é oxidada para ácido glucônico

e peróxido de hidrogênio. Após o contato do sangue com a fita reagente, na qual se encontra a glicose oxidase ou peroxidase, a reação acaba por alterar a cor da fita, sendo interpretada por método fotométrico ou amperométrico (NEGRATO, 2021).

Ainda segundo Negrato (2021), não importa o tipo de tecnologia utilizada, os fabricantes devem fazer testes a fim de verificar e informar se a acurácia dos glicosímetros estão dentro dos padrões pela resolução ISO 15197:2003: Valores de glicemia menores ou iguais 75 mg/dL devem obter 95% das leituras dentro de um limite de variação de ± 15 mg/dL e para valores maiores que 75% mg/dL um limite de variação de no máximo 20%. Estando dentro destes parâmetros, tanto o método fotométrico ou amperométrico do glicosímetro são confiáveis.

Os glicosímetros são comprovadamente uma boa ferramenta de quantificação do açúcar glicose (que constitui parte da molécula de lactose), mas não só isso, conforme apontado por Campos *et al* (2014) em que foi concluído que o glicosímetro é capaz de determinar a presença de açúcares redutores que possuam anéis piranosídicos, sendo a lactose um açúcar com essa característica.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo quantificar a lactose presente no leito denominado zero lactose por meio de um glicosímetro.

## 2 I MATERIAIS E MÉTODOS

Para determinar a concentração de lactose a partir do glicosímetro, foram obtidos os valores de referência de porcentagem lactose no leite comercial “zero lactose” pelo método da Cloramina-T de acordo com Wolfschoon-Pombo e Casagrande (1982). Com esses valores de referência e a literatura foi possível comparar os resultados obtidos com a leitura das amostras no glicosímetro a fim de observar a confiabilidade do equipamento na quantificação de lactose em leites UHT rotulados como “zero lactose”.

### 2.1 Obtenção dos valores de referência de lactose pelo método da Cloramina-T

As amostras foram preparadas a partir da diluição das substâncias lácteas. Para isso, foram coletadas alíquotas de 20,0 mL de leite integral, desnatado e zero lactose e cada uma transferida para um balão volumétrico de 100,0 mL. Após a diluição, 5,0 mL de cada amostra foram transferidos para um balão de 50,0 mL e adicionados 10,0 mL de água destilada, 20,0 mL de ácido wolfrâmico (para obtenção do ácido wolfrâmico foram dissolvidos 7,009 g de tungstato de sódio em 870 mL de água destilada, depois adicionou-se 0,1 mL de ácido ortofosfórico 88% p/p e 70 mL de ácido sulfúrico 1 N) e o volume completado com água destilada. A solução foi agitada e depois mantida em repouso durante 30 minutos. Decorrido esse tempo, a solução foi filtrada em papel filtro.

Para determinar o teor de lactose, 10,0 mL de cada filtrado foram transferidos para

um erlenmeyer com rolha esmerilhada e foram adicionados 5,0 mL de iodeto de potássio 10% e 20,0 mL de Cloramina-T 0,040 N. As rolhas dos erlenmeyers foram umedecidas com a solução de iodeto de potássio 10%, todos os recipientes foram fechados e enrolados em papel alumínio (para proteger da luz) e mantidos em repouso durante 1h30. Decorrido esse tempo, foram adicionados em cada frasco 5,0 mL de ácido clorídrico 2 N, 10,0 mL de tiossulfato de sódio 0,040 N e as amostras foram tituladas com a solução de tiossulfato de sódio 0,040 N até o titulante apresentar uma coloração amarela. Ao atingir a cor amarela, foram adicionadas 5 gotas de solução de amido 10%, a solução passou de amarelo para marrom escuro. A titulação continuou e o titulado passou de marrom escuro para azul e posteriormente incolor, indicando o ponto de equivalência. Esse procedimento foi realizado em duplicata. A análise do branco foi realizada da mesma forma só que sem a presença do leite.

## 2.2 Construção da curva de calibração para lactose

Para construir a curva de calibração foram preparadas soluções padrão constituídas de soro de leite e solução de lactose 20 g/L. O soro foi obtido a partir da mistura de 200,0 mL de leite integral e 24,0 mL de vinagre. A mistura foi mantida em repouso durante 60 minutos e após esse tempo o leite coagulado foi filtrado. Cinco soluções padrão foram preparadas a partir de 100,0 $\mu$L de soro (filtrado) e 0,0 mL, 1,0 mL, 2 mL, 3 mL e 4 mL da solução de lactose 20g/L. Todas as soluções foram analisadas em um glicosímetro e a leitura no equipamento foi feita pela adição de uma gota de solução na fita reativa inserida no glicosímetro. Para cada leitura utilizou-se uma fita nova.

## 2.3 Avaliação do glicosímetro na detecção de glicose e galactose

A glicose e galactose são açúcares provindos da hidrólise do leite e para verificar se o glicosímetro poderia medi-las, soluções estoque de ambos os açúcares na concentração de 20 g/L foram preparadas. Para a leitura da glicose foram preparadas cinco amostras de concentrações 0,5;1,0; 3,0; 4,0 e 5,0 g/L a partir da diluição da solução estoque. E para a galactose foram preparadas cinco amostras nas concentrações 2,0; 6,0; 10,0, 14,0 e 20,0 g/L. Para a quantificação dos açúcares, uma gota de cada padrão foi lida com o glicosímetro.

## 2.4 Determinação do teor de lactose das amostras de leite integral, leite desnatado e leite zero lactose

Para quantificar o teor de lactose presente nas amostras de leite integral, leite desnatado e leite zero lactose foram necessários diluí-las 10 vezes em água, devido ao glicosímetro não abranger escalas de concentrações muito altas. Assim, 10,0 mL de cada amostra foram diluídos em um balão volumétrico de 100,0 mL. Uma gota de cada solução foi inserida na fita de leitura do glicosímetro.

## 3 I RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Obtenção dos valores de referência de lactose pelo método da Cloramina-T

O método da Cloramina-T baseia-se na determinação da lactose pela titulação do iodo reduzido durante a reação entre a lactose e a Cloramina- T/iodeto de potássio. Depois de desproteinizar o leite com o ácido wolfrâmico, para reduzir o máximo de interferências das proteínas, o iodo é liberado do iodeto de potássio pela porção de Cloramina-T que não foi usada na oxidação de lactose e a quantidade de iodo liberado é titulada com tiossulfato de sódio como mostra a reação a seguir (CARLOS, 2021):

$$C_7H_2SO_2NaNCl + H_2O \rightarrow C_7H_7SO_2HNH + 7NaClO$$

$$NaClO + KI \rightarrow NaCl + KIO$$

$$KIO + KI + H_2O \rightarrow 2KOH + I_2 \text{ (alaranjado)}$$

$$C_7H_2SO_2NaNCl + 2HCl + 2KI \rightarrow C_7H_7SO_2HNH + NaCl + 2KCl + I_2$$

$$KIO + C_5H_{11}O_5CHO \rightarrow C_5H_{11}O_5COOK + HI$$

O volume de titulante foi determinado pela subtração do volume gasto na titulação do branco (WOLFSCHOON-POMBO; CASAGRANDE, 1982). Durante a titulação foi observado que a solução titulada apresentou mudanças de coloração de âmbar para amarelo e ao adicionar o indicador, passou de amarelo para marrom escuro. Ainda durante a titulação, a solução passou de marrom escuro para azul até se tornar incolor, indicando o ponto de equivalência (PE). Neste momento todo o iodo que foi deslocado do iodeto de potássio reagiu com o tiossulfato de sódio. As análises foram realizadas em duplicatas e os valores médios estão apresentados na Tabela 1.

| Titulado | Volume médio do titulante (mL) |
|---|---|
| Branco | 12,80 |
| Leite integral | 10,80 |
| Leite desnatado | 11,3 |
| Leite zero lactose | 9,3 |

Tabela 1. Volume de titulação gastos para amostras de 10 mL de titulado.

Fonte: Próprio autor

O teor de lactose presente nas amostras foi calculado de acordo com a Equação 1 (WOLFSCHOON-POMBO e CASAGRANDE, 1982).

$$\% \ de \ lactose \ (p/p) = (V_b - V_A) \cdot f \cdot 0{,}0072 \cdot \frac{100}{m} \cdot 100 \cdot 0{,}995 \qquad (1)$$

Onde, $V_b$ é o volume de tiossulfato utilizado para titular o branco, $V_A$ é o volume de tiossulfato utilizado para titular o filtrado (lactose), $f$ é o fator de correção de tiossulfato (neste caso, $f$ = 0,9898), o valor 0,0072 corresponde à massa em gramas de lactose monoidratada correspondente a 1,0 mL de tiossulfato, $m$ é massa da amostra em gramas (a massa da amostra foi determinada a partir da densidade do leite) e o valor 0,995 é a correção para o volume do precipitado.

Os valores obtidos a partir do método da Cloramina-T apresentaram a quantidade experimental de lactose nas amostras. Assim, foram determinados teores de 6,81% para o leite integral; 5,11% para o leite desnatado e 1,23% para o leite zero lactose.

## 3.2 Construção da curva de calibração para lactose

Com o objetivo de verificar que o glicosímetro obtém o sinal analítico e quantifica outro açúcar além da glicose, foi realizada a construção da curva de calibração para a lactose a partir da leitura dos padrões de concentração conhecidas da mesma. Com a leitura dos padrões foi possível obter a equação da reta e a partir dela, determinar a concentração de lactose em qualquer amostra láctea.

A curva de calibração foi construída a partir de cinco soluções padrão, sendo o padrão 1, o branco (sem lactose), e as demais contendo a presença de diferentes concentrações de lactose. Os dados do sinal analítico para cada concentração são apresentados na Tabela 2.

| Padrão | Volume de soro fluido | Volume em mL da solução de lactose a 20g/L | Concentração de lactose (g/L) | Sinal analítico do glicosímetro (mg/dL) |
|---|---|---|---|---|
| **1** | 100 | 0 | 0 | 40 |
| **2** | 100 | 1 | 2 | 150 |
| **3** | 100 | 2 | 4 | 300 |
| **4** | 100 | 3 | 6 | 420 |
| **5** | 100 | 4 | 8 | 550 |

Tabela 2. Modelo para construção dos padrões de lactose

Fonte: Próprio autor

A partir desses dados, foi gerado um gráfico de sinal analítico vs concentração de lactose em g/L (Figura 2).

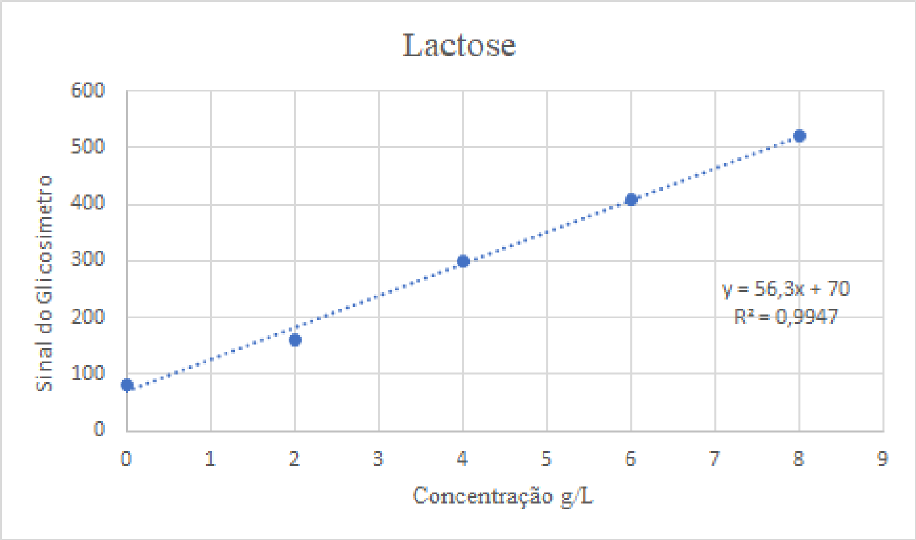



Figura 2. Concentração de lactose no soro do leite.

Observou-se que a relação mostrada no gráfico é linear, comprovando então que o glicosímetro foi eficiente em obter a concentração de lactose nos padrões de soro de leite, e como as amostras lácteas estão no mesmo meio (lactose), foi possível quantificar esse açúcar nas alíquotas amostradas.

### 3.3 Avaliação do glicosímetro frente a glicose e galactose

O glicosímetro também foi avaliado no sentido de verificar a possibilidade de leitura dos açúcares glicose e galactose, que estão presentes em substâncias lácteas hidrolisadas (zero lactose), foco do presente trabalho. Assim, foram construídas curvas de calibração com cinco soluções padrão e os resultados são apresentados na Tabela 3.

| Padrão de cada açúcar | Concentração de glicose (g/L) | Sinal analítico de glicose (mg/dL) | Concentração de galactose (g/L) | Sinal analítico de galactose (mg/dL) |
|---|---|---|---|---|
| **1** | 0,5 | 109 | 2 | 100 |
| **2** | 1 | 185 | 6 | 159 |
| **3** | 3 | 360 | 10 | 253 |
| **4** | 4 | 487 | 14 | 308 |
| **5** | 5 | 565 | 20 | 402 |

Tabela 3. Concentrações das soluções de açúcares e respectivos sinais analíticos obtidos.

Fonte: Próprio autor

A reta de calibração entre o sinal analítico ($S_g$) e a concentração de glicose ($C_g$) foi $S_g$ =99,73 $C_g$ +64,73, com R² = 0,9992. Para a galactose, a reta obtida entre o sinal analítico ($S_{ga}$) e a concentração ($C_{ga}$) foi $S_{ga}$=16,88$C_{ga}$+69,615, com R² = 0,9955. Portanto, verificou-se que o glicosímetro obteve resposta linear aos açúcares analisados, incluindo a galactose, sendo possível obter sua concentração caso necessário.

Embora uma equação da reta tenha sido gerada para esses açúcares, os mesmos não foram quantificados nas amostras, pois no leite integral e desnatado a lactose não sofre hidrólise e no leite zero lactose, embora estejam presentes, o que se deseja observar é a quantidade de lactose residual do processo ao qual esses produtos são submetidos e não a quantidade dos açúcares.

### 3.4 Determinação do teor de lactose das amostras de leite integral, leite desnatado e leite zero lactose

Cada amostra comercial de leite foi lida 5 vezes no glicosímetro a fim de, com o sinal gerado, obter a concentração de lactose presente nas amostras a partir da Equação 2.

$$\%\,(m/v)\ lactose\ =\ S \cdot FD \cdot f_c \qquad (2)$$

Onde, *S* é o valor lido no glicosímetro, *FD* corresponde ao fator de diluição da amostra e $f_c$ é o fator de correção (este fator de correção é obtido através da razão entre o valor obtido pelo método cloramina-T e o valor na literatura).

As 5 leituras foram necessárias pois a reação que permite ao glicosímetro quantificar açúcares acontece na fita reativa, que não pode ser reutilizada, já que só ocorre uma reação por fita. Essas fitas também podem ter eficiências diferentes com relação a capacidade de reação, o que pode gerar variações nos resultados.

Dentre os diferentes tipos de leite avaliados, para o leite integral e desnatado as leituras foram feitas com diluição de 10 vezes. O resultado para as leituras no glicosímetro e as respectivas concentrações está apresentado na Tabela 4.

| Leite integral | | | Leite desnatado | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Leitura** | **Sinal analítico (mg/dL)** | **%m/v** | **Leitura** | **Sinal analítico (mg/dL)** | **%m/v** |
| **1** | 157 | 5,645 | **1** | 155 | 4,442 |
| **2** | 149 | 5,462 | **2** | 142 | 4,070 |
| **3** | 136 | 4,986 | **3** | 163 | 4,671 |
| **4** | 128 | 4,692 | **4** | 157 | 4,499 |
| **5** | 133 | 4,876 | **5** | 146 | 4,184 |

Tabela 4. Valores dos sinais analíticos e das respectivas concentrações de lactose no leite integral e desnatado.

Fonte: Próprio autor

Os resultados estão de acordo com os valores esperados pela literatura (entre 4% a 6% de lactose), e as amostras apresentaram uma média de concentração de lactose de 5,13% para o leite integral e 4,37% para o leite desnatado. A variação entre as médias das amostras pode ser explicada pela diferença entre os tipos de leite (integral e desnatado).

Embora todos os valores apresentados estejam dentro do esperado, a pequena diferença entre o valor obtido pelo método da Cloramina-T e do glicosímetro pode estar relacionada aos procedimentos terem sido realizados em dias diferentes e não ter sido possível utilizar as mesmas alíquotas, já que o leite é um alimento altamente perecível depois de aberto.

O leite zero lactose, por sua vez, foi diluído em 100 vezes, pois a diluição em 10 vezes apresentou um valor que ultrapassou os parâmetros de leitura do glicosímetro pela alta concentração de glicose e galactose que não está presente nos leites não hidrolisados (integral e desnatado). Os resultados são apresentados na Tabela 5.

| **Leitura** | **Sinal Analítico (mg/dL)** | **%m/v** |
|---|---|---|
| **1** | 83 | 0,798 |
| **2** | 84 | 0,807 |
| **3** | 84 | 0,807 |
| **4** | 83 | 0,798 |
| **5** | 84 | 0,807 |

Tabela 5. Sinal analítico e respectiva concentração das leituras do leite zero lactose diluído em 100 vezes.

Utilizou-se das leituras da diluição de 100 vezes para efeito de comparação com o método de referência (Cloramina-T), já que essa foi a diluição considerada no método anterior.

De acordo com os valores calculados, os teores de lactose em leites zero lactose analisados estão dentro dos padrões para produtos com essa denominação, de 0 a 1% (MOREIRA *et al*, 2017). Os resultados obtidos pelo método da Cloramina-T e a leitura no glicosímetro apresentaram uma pequena divergência pelo mesmo motivo apresentado para leite integral e desnatado: as análises foram feitas em dias diferentes, fazendo-se necessário a utilização de novas amostras, pois o leite é um alimento altamente perecível.

Assim, foi possível observar que o glicosímetro foi eficaz na leitura da concentração de lactose nas amostras.

## 4 I CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos a partir da leitura das amostras com o glicosímetro frente a diferentes meios (lactose, glicose e galactose) pode-se concluir que o equipamento é capaz de determinar a concentração de todos açúcares presentes nas bebidas lácteas. Contudo, para a leitura adequada do leite zero lactose, foi necessário realizar uma diluição diferenciada de 100 vezes quando comparado aos outros leites, que foram lidos a uma diluição de 10 vezes. Essa diluição diferenciada para o leite zero é justificada pelo teor de glicose e galactose provindos de sua hidrólise industrial, que não ocorre para o leite integral e desnatado.

O sucesso em quantificar a lactose em leites zero por meio do glicosímetro tem sua importância social, uma vez que a lactose residual que se apresenta nesses produtos podem causar sintomas e riscos aos portadores de hipolactasia, visto que a quantidade deste açúcar muitas vezes não está presente no rótulo ou não é apresentada de forma fidedigna e um método que permita quantificar a lactose através do glicosímetro, que não exige reagentes, laboratório e/ou pessoas qualificadas para análise, se mostra como uma alternativa viável para a população interessada, exigindo apenas a aquisição de um glicosímetro, facilmente encontrado em farmácias.

## REFERÊNCIAS


BRUNA, Maria Helena Varella. **Doenças e Sintomas: intolerância à lactose. Intolerância à lactose.** 2014. Disponível em: https://drauziovarella.uol.com.br/doencas-e-sintomas/intolerancia-a-lactose/. Acesso em: 16 abr. 2021.

CAMPOS, Naira S. et al. **Lactose Quantification in Dairy Products by AccuChek®Glucometer.** Revista Virtual de Química, [S.L.], v. 6, n. 6, p. 1667-1686, 2014. Sociedade Brasileira de Quimica (SBQ). http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20140108. Disponível em: http://static.sites.sbq.org.br/rvq.sbq.org.br/pdf/v6n6a10.pdf. Acesso em: 25 mai. 2021.

CARLOS, Luiz. **Açucares Redutores e não redutores.** Disponível em: https://www2.ufjf.br/ppgctld/wp-content/uploads/sites/178/2009/05/cloramina-t.pdf. Acesso em: 08 dez. 2021.

KIRCHHOFF, Thayana. **Lactose: o que é, benefícios e intolerância**. 2020. Disponível em: https://www.minhavida.com.br/alimentacao/tudo-sobre/36140-lactose. Acesso em: 08 nov. 2021.

MATTAR, Rejane; MAZO, Daniel Ferraz de Campos. **Intolerância à lactose: mudança de paradigmas com a biologia molecular.** Rev Assoc Med Bras, São Paulo, v. 56, n. 2, p. 230-236, 2010. Disponível em: https://core.ac.uk/download/pdf/208807781.pdf. Acesso em: 04 jun. 2021.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano Mais. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Ministerio/Publicacao_v2.pdf. Acesso em: 16 mai. 2021.

MIRA, Giane Sprada; CANDIDO, Lys Mary Bileski; YALE, Jean François. **Performance de glicosímetro utilizado no automonitoramento glicêmico de portadores de diabetes mellitus tipo 1.** Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia, [S.L.], v. 50, n. 3, p. 541-549, jun. 2006. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/abem/v50n3/30653.pdf. Acesso em: 20 abr. 2021.

MOREIRA, *et al*. **ESTUDO DO TEOR LACTOSE EM LEITES UHT QUE DECLARAM SER ZERO LACTOSE.** Revista Cientifica do Unisalesiano, Lins - Sp, v. 8, n. 17, p. 1-13, jul. 2017. Disponível em: http://www.salesianolins.br › avaliacao › artigo101. Acesso em: 06 mai. 2021.

NEGRATO, Dr. Carlos. **Esclarecimentos quanto à metodologia utilizada nos monitores de glicemia capilar (glicosímetros) e erros mais freqüentes na prática clínica.** Disponível em: https://www.diabetes.org.br/publico/colunas/32-dr-carlos-negrato/193-esclarecimentos-quanto-a-metodologia-utilizada-nos-monitores-de-glicemia-capilar-glicosimetros-e-erros-mais-frequeentes-na-pratica-clinica. Acesso em: 22 mai. 2021.

PEREIRA, Mônica Cecília Santana et al. **LÁCTEOS COM BAIXO TEOR DE LACTOSE: UMA NECESSIDADE PARA PORTADORES DE MÁ DIGESTÃO DA LACTOSE E UM NICHO DE MERCADO.** Rev. Inst. Latic. “Cândido Tostes”, Juiz de Fora, v. 67, n. 389, p. 57-65, 2012. Disponível em: https://www.revistadoilct.com.br/rilct/article/view/227/237. Acesso em: 07 abr. 2021.

ROCHA, Hellen. **Medidor de Glicose: medidor de glicose: como usar um glicosímetro?**. 2020. Disponível em: https://blog.maconequi.com.br/como-usar-um-glicosimetro/. Acesso em: 17 nov. 2021.

TENORIO, Goretti; PINHEIRO, Chloé. **O que é intolerância à lactose: sintomas, diagnóstico e tratamento. 2019.** Revista Veja Saúde. Disponível em: https://saude.abril.com.br/alimentacao/o-que-e-intolerancia-a-lactose-sintomas-diagnostico-e-tratamento/. Acesso em: 12 mai. 2021.

WOLFSCHOON-POMBO, Alan F; CASAGRANDE, Homero de Resende. **Nova Técnica Para Quantificação da Lactose e Sacarose no doce de Leite**. Revista do Ilct, Juiz de Fora, v. 222, n. 37, p. 3-7, set. 1982. Disponível em: https://drive.google.com/drive/u/3/folders/1hwurYiIJXATnwitcEYbSUn1N2Wu3nRbD. Acesso em: 10 mar. 2021.

# CAPÍTULO 18

# ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE IMPRESSÃO 3D NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE PEÇAS TÉCNICAS IMPRESSAS

**Paulo Cesar Polli**
Universidade São Francisco
Itatiba - SP
http://lattes.cnpq.br/7549994327679045

**Daniel Loureiro**
Universidade São Francisco
Itatiba - SP
http://lattes.cnpq.br/8970219282129453

**RESUMO**: A impressora 3D tornou-se atualmente ferramenta indispensável para engenheiros, projetistas e alunos que desejam materializar seus projetos, podendo criar protótipos tridimensionais, a fim de facilitar a tomada de decisões para aprovação e execução de projetos técnicos. Este equipamento funciona através da decomposição de material, sendo impresso camada por camada. Neste trabalho, foi utilizado o processo de impressão Modelagem por Fusão e Decomposição (FDM). Quando se deseja criar produtos através da impressora 3D, ou seja, peças que serão utilizadas em outros equipamentos é ideal que essas peças tenham as melhores propriedades mecânicas possíveis. O presente trabalho testou quais parâmetros interferem significativamente no desempenho das peças técnicas impressas em 3D, demonstrando através de ensaios em laboratório, como amostras padronizadas impressas se comportam quando são submetidas a testes de tração. Realizando combinações dos parâmetros como: material a ser impresso, espessura da camada superficial de impressão e preenchimento interno. Este estudo buscou determinar qual combinação desses parâmetros é a melhor opção para se obter a melhor resistência mecânica. Foram impressas diversas amostras para realização dos ensaios e após a obtenção dos resultados comportamentais, todos os dados obtidos passaram por procedimentos estatísticos, a fim de apresentá-los de maneira simples e de fácil entendimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Impressora 3D, polímeros de engenharia, prototipagem rápida, parâmetros de impressão 3D, ensaio de tração.

## STUDY OF THE INFLUENCE OF 3D PRINT PARAMETERS ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF PRINTED TECHNICAL PARTS

**ABSTRACT:** The 3D printer has now become an indispensable tool for engineers, designers and students who wish to materialize their projects, creating three-dimensional prototypes to facilitate decision-making for approval and execution of technical projects. This equipment works through the decomposition of material, being printed layer by layer. In this work, the Fusing and Decomposition Modeling (FDM) printing process was used. When it is desired to create products through the 3D printer, that is, parts that will be used in other equipment, it is ideal that these parts have the best mechanical properties possible. The present work tested which parameters significantly interfere with the performance of the technical parts printed in 3D, demonstrating through laboratory tests how standardized printed

samples behave when subjected to tensile tests. The combination of these parameters is the best option to obtain the best mechanical resistance. The results of this study are based on the following parameters: material to be printed, surface layer thickness and internal fill. Several samples were printed to perform the tests and after obtaining the behavioral results, all the data obtained went through statistical procedures, in order to present them in a simple and easy to understand way.
**KEYWORDS:** 3D Printer, engineering polymers, rapid prototyping, 3D printing, 3D printing parameters, tensile test.

## 1 | INTRODUÇÃO

Com máquinas cada vez mais tecnológicas e computadorizadas, é possível a industrialização de diversos produtos com alta complexidade de processos industriais em um curto espaço de tempo, fazendo com que o produto necessite de um projeto técnico e ágil, não podendo causar atrasos no setor fabril. Um projeto bem elaborado exige uma análise profunda de todas as variáveis que impactarão a qualidade e durabilidade do produto final. Durante essa análise é possível observar a barreira que a indústria de projetos enfrenta que é a modelagem física de seus produtos, para a verificação de possíveis erros antes do início de produção em larga escala. Essa modelagem inicia-se em *softwares* de computadores, como por exemplo, o SOLIDWORKS®, em que é possível modelar o produto em três dimensões e fazer alterações sem quaisquer custos materiais. Porém, mesmo utilizando este recurso, o projeto fica carente de um protótipo físico, em que a visualização física do produto final é, muitas vezes, determinante para a execução do projeto. Na busca contínua para tornar o setor de projetos mais eficiente, a primeira impressora 3D surgiu em 1984, inventada por Chuck Hull, engenheiro físico norte-americano do estado da Califórnia, que utilizava o método de estereolitografia, tecnologia precursora da impressão 3D. Em 1989, foram criadas as primeiras impressoras comerciais, desenvolvidas por S. Scott Crump, cofundador da empresa Stratasys, Ltda. Desde então, essa tecnologia proporcionou diversas oportunidades de negócio, devido a sua flexibilidade e agilidade na criação de protótipos e produtos. Atualmente, algumas versões desses equipamentos estão mais acessíveis financeiramente, facilitando a prototipagem rápida, inclusive para pequenas empresas. Na *internet*, são fornecidos gratuitamente alguns *softwares*, como por exemplo, o Repetier, que opera as impressoras com melhor eficiência.

Poder fabricar produtos em impressoras que possam ser utilizados como parte integrante de novos equipamentos, representa economia de tempo e dinheiro, obrigando empresas a investirem nesse tipo de fabricação.

Ao utilizar peças obtidas pelo equipamento de impressão 3D, deseja-se que essas peças obtenham as mesmas propriedades mecânicas, comparadas com peças fabricadas por métodos convencionais de obtenção de peças constituídas em termoplásticos, como

por exemplo o processo de injeção em moldes, onde são fabricadas peças como mancais termoplásticos tipo UC, com rolamentos rígidos de esferas em anel mais largo, que são largamente utilizados na indústria. Na fabricação por injeção, é possível obter peças com ótimas propriedades mecânicas, porém para projetos em que se deseja uma quantidade menor de peças, se torna inviável a injeção, devido aos altos custos de fabricação dos moldes. Gerar peças pelo processo de impressão tridimensional é a opção mais prática, devido não necessitar de moldes, tornando o projeto viável.

Manufaturar peças na impressora 3D, exige determinar quais fatores afetarão diretamente às propriedades mecânicas do objeto que será impresso. Nesse estudo, os parâmetros abordados serão: Material de fabricação, camada superficial de impressão e preenchimento interno.

Entender como esses fatores interferem no comportamento do objeto quando este está submetido a uma carga, ajudará definir qual a melhor combinação desses três fatores e assim, fabricar peças com as melhores propriedades mecânicas possíveis.

Nesse contexto, o presente estudo visa demonstrar em laboratório, através de experimentos com amostras padronizadas, qual a melhor combinação de fatores que influenciam a impressão de uma peça técnica, a fim de que ela possa ser utilizada em aplicações industriais. Através de testes de tração, utilizando amostras impressas em materiais poliméricos, será possível compreender de forma clara e objetiva, o comportamento das amostras sob o esforço de tração, criando gráficos de tensão *versus* deformação, demonstrando qual condição obteve melhor desempenho.

## 2 | REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 História da impressora 3D

A impressora 3D é considerada um invento revolucionário, sendo utilizada atualmente por diversos ramos, nos quais se desejam construir peças ou objetos a partir de modelos tridimensionais projetados em computadores. No ano de 1980 foram iniciados os inventos dos processos de prototipagem rápida, com ênfase na obtenção de objetos construídos camada sob camada. Na década de 80, surgiram também os três principais tipos de impressão 3D, sendo elas: SLA (Estereolitografia), SLS (Sinterização Seletiva a Laser) e FDM (Modelagem por Fusão e Decomposição). Já nos anos 90, surgiram impressoras mais desenvolvidas tecnologicamente, além de softwares de CAD (*Solidscape*), específicos para impressão de objetos por adição de material. Com essas otimizações, foi possível iniciar o uso da tecnologia de impressão 3D em áreas como a Medicina. Nos anos 2000, houve uma grande exposição dessa tecnologia na mídia, alavancada pela utilização desses equipamentos para impressão de órgãos humanos e próteses para deficientes físicos.

No ano de 2009, com o fim das patentes, o uso das tecnologias tornou-o livre para o público e mais acessível financeiramente, aumentando ainda mais sua popularidade entre entusiastas da manufatura rápida (SCULPTEO, 2016).

No processo FDM, a fabricação dos modelos tridimensionais é feita através da decomposição de filamentos de polímeros aquecidos até determinada temperatura, e camada por camada cria-se o objeto desejado. O filamento é colocado na impressora 3D em um rolo de armazenagem e durante a impressão se desenrola, alimentando o bico de impressão, conforme demonstrado na Figura 1 (ABREU, 2015).

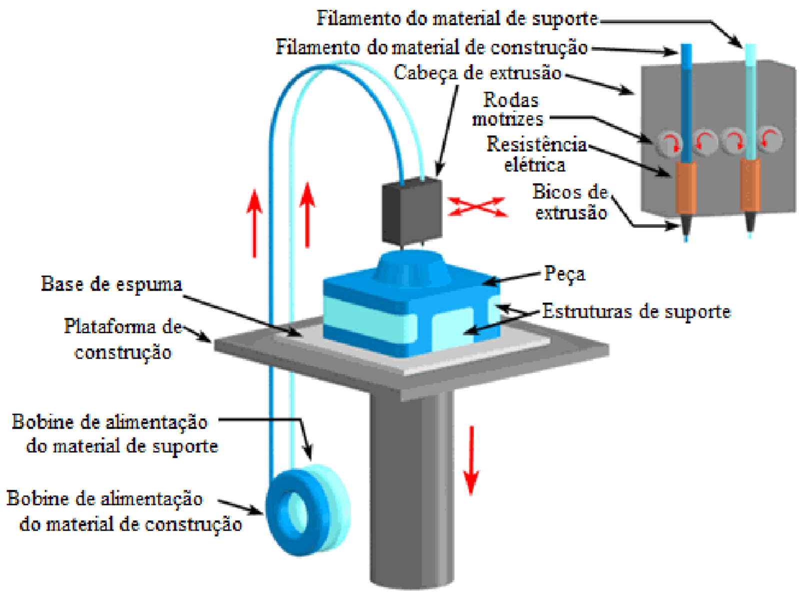



Figura 1 - Processo de Modelagem por Fusão e Decomposição

Fonte: ABREU, 2015.

## 2.2 Polímeros ABS e PLA

O PLA (Poli Ácido Láctico), pode ser obtido de duas maneiras: A primeira é pela policondensação direta de ácido lático e a segunda maneira é a polimerização por abertura do anel lático (JAHNO, 2005). Trata-se de um termoplástico amplamente utilizado em impressoras 3D. Sua composição de poliéster alifático produzido através da fermentação da biomassa do milho ou de materiais de fontes renováveis, como cana de açúcar e batata, pode ter as propriedades semi cristalino ou amorfo, dependendo de sua estrutura molecular, interferindo em sua resistência mecânica e flexibilidade (TOMÁS, 2011)

O copolímero termoplástico ABS (Acrilonitrila, Butadieno e Estireno), é sintetizado

pelo seguinte processo: primeiramente a acrilonitrila é copolimerizada com o estireno, gerando o SAN (Estireno e Acrilonitrila), que posteriormente é extrudada com o polibutadieno, criando o ABS. Esse polímero é amplamente usado na indústria pelas suas ótimas propriedades, como leveza, rigidez, flexibilidade e absorção de impactos, podendo assumir diversas formas com ótimo acabamento, brilho e diversas cores utilizando-se adição de pigmentos (CANEVAROLO, 2006).

## 2.3 Prototipagem

Define-se como o processo da criação do produto que se deseja produzir, porém é manufaturado antes que o produto seja efetivamente industrializado, podendo assim fazer todas as avaliações necessárias a fim de evitar erros de projeto.

## 2.4 Ensaios de tração - normas

Para avaliar a resistência de um material que será tracionado, é realizado ensaio de tração em corpo de prova padronizado pela norma ASTM (*American Society for Testing & Materials*). O ensaio consiste em aplicar duas forças opostas nas extremidades de um corpo de prova, até que ocorra a ruptura. Esse ensaio permite avaliar como estes materiais se comportam e quais serão seus limites de resistência. Essas propriedades são importantes para controlar e especificar materiais plásticos, para pesquisa e desenvolvimento de projetos técnicos. Desta forma é possível avaliar se o material tende a deformar facilmente ou não, de modo a assegurar uma boa precisão dimensional quando submetidos a esforços de Tração. A norma técnica que especifica esse tipo de ensaio, é, também, a ASTM, ela preconiza os parâmetros nas seguintes famílias de normas (FILHO *et. al*, 2017):

- ASTM D638
- ADTM D412
- ADTM D882
- ISO 527

## 2.5 Processamento de dados estatísticos

A coleta de dados é de suma importância para analisar um problema de engenharia. Segundo (MONTGOMERY, 2013), se tratando de um projeto empírico, por exemplo, os primeiros dados coletados serão a base norteadora para investigação, visando à tomada de decisão para a fabricação de um novo produto ou mesmo a melhora de um produto existente.

Desta forma, a tomada de decisão em um processo industrial ou qualquer outra área depende da organização de dados, sendo esta uma ferramenta importante para economizar tempo e recursos. Um projeto sem um planejamento, obedecendo às premissas

de uma boa estratégia, pode levar o experimento à ruína, já com o levantamento de dados cria-se uma memória em que uma estratégia pode ser mudada evitando o mesmo erro (MONTGOMERY, 2013).

### 2.6 *Softwares* de impressão 3D

Existem vários softwares para impressora 3D na *internet*, alguns são pagos e outros gratuitos, sendo um dos mais usados o *Repetier*, por ser gratuito. O *Repetier* é um gestor de impressão que tem como objetivo criar um modelo matemático baseado em coordenadas a partir de um desenho 3D salvo em STL. Este *software* possui uma opção que tem a função de fatiar em camadas modelo 3D em um plano horizontal tornando em 2D, o *Slice*, depois de feito o fatiamento por camada, o programa faz os cálculos de forma reversa de preenchimento com polímero que será extrudado.

### 2.7 Variáveis que afetam a qualidade de impressão 3D

Quando se realiza a prototipagem rápida em impressoras 3D, é de grande importância que o produto obtido dessa impressão seja de extrema qualidade visual e geométrica, pois deve representar de maneira fiel o modelo projetado no computador. Segundo (MELENKA *et al.*, 2015), alguns fatores são fortemente influenciados no processo FDM, sendo eles: geometria e dimensões. Devido ao processo de impressão depender de calor para construção do protótipo, podem ocorrer distorções na geometria da peça, como por exemplo, empenamento de peças longas e etc. No fator dimensões, devido à peça ser aquecida durante a impressão, quando o processo é finalizado, ocorre o esfriamento do objeto, ocasionando a contração das dimensões, podendo ter seus valores afetados de forma significativa.

## 3 | METODOLOGIA

Entender o comportamento mecânico de um material é de suma importância quando se projeta peças que atuarão em equipamentos industriais. A maneira como se inicia o desenvolvimento de uma peça técnica depende de alguns fatores, como o tipo de material que será usado, o processo de fabricação etc. Analisando o material, tratando-se de peças impressas, a resistência à tração é um fator que pode afetar o bom funcionamento deste componente, devido o processo de impressão ser realizado camada por camada. Para a realização dos testes de tração deste trabalho, foi necessário seguir normas que definem de maneira padronizada como realizar esses experimentos. A primeira etapa foi definir a geometria das amostras que foram impressas e ensaiadas.

Segundo a norma ASTM D638 (ASTM, 2018), conforme ilustrada na Figura 2, o corpo de prova deve ter as seguintes dimensões.

**Dimensões do CP para Ensaio de Tração (ASTM D638)**

| | T ≤ 7 mm | | T = 7 – 14 mm |
|---|---|---|---|
| DIMENSÕES (MM) | Tipo I | Tipo II | Tipo III |
| W – LARGURA DA SEÇÃO DELGADA | 13 | 6 | 19 |
| L – Comprimento da seção delgada | 57 | 57 | 57 |
| WO – Largura total | 19 | 19 | 29 |
| LO – Comprimento total | 185 | 183 | 246 |
| G – Comprimento p/ instrumentação | 50 | 50 | 50 |
| D – Distância entre garras | 115 | 135 | 115 |
| R – raio | 76 | 76 | 76 |

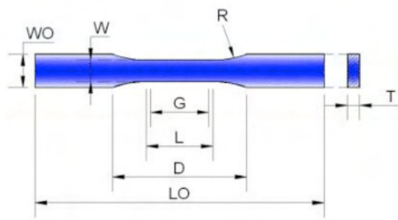





Figura 2 - Corpo de prova segundo a norma

Fonte: RUCKERT, 2018.

Como se deseja obter uma comparação entre o comportamento do material PLA e ABS, é necessário um número mínimo de amostras por ensaio, sendo definido cinco impressões por ciclo de ensaios, sendo oito ciclos, gerando quarenta amostras. Essa regra torna o tratamento dos dados mais seguro.

Com intuito de facilitar o entendimento dos dados, as variáveis utilizadas foram apresentadas da seguinte maneira:

- Em relação ao parâmetro preenchimento, foram fixados dois tipos de siglas representativas, em que P50 corresponde a 50% de preenchimento e P75 a 75% de preenchimento;

- Na camada, que é o contorno da peça (“casca”), denominou-se também dois tipos de letras representativas, em que CM2 - dois filetes de camada e CM5 - cinco filetes de camada e;

- Para representar qual o material utilizado nas amostras, utilizou-se a as siglas que já as nomeiam: ABS e PLA.

A Tabela 1 apresenta a organização dos ciclos, de acordo com as variáveis utilizadas.

| Condição | Polímero | Preenchimento | Camada | Quant. de amostras |
|---|---|---|---|---|
| 1 | PLA | P50 | CM2 | 5 |
| 2 | PLA | P75 | CM5 | 5 |
| 3 | PLA | P50 | CM2 | 5 |
| 4 | PLA | P75 | CM5 | 5 |
| 5 | ABS | P50 | CM2 | 5 |
| 6 | ABS | P75 | CM5 | 5 |
| 7 | ABS | P50 | CM2 | 5 |
| 8 | ABS | P75 | CM5 | 5 |

Tabela 1 - Dados organizados por material e siglas.

Fonte: Autoria Própria.

Definidas a geometria e as dimensões dos corpos de prova, a próxima etapa foi imprimir as amostras na impressora 3D. O equipamento utilizado foi a impressora modelo Sethi3d, mostrada na Figura 3 que opera pelo processo de FDM (Modelagem de fusão e decomposição).

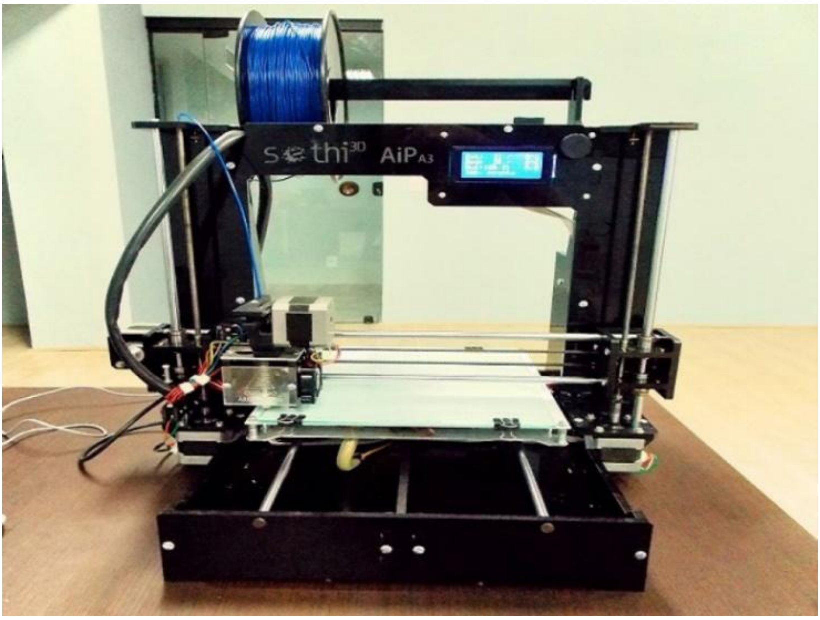



Figura 3 - Impressora 3D, Sethi3d

Fonte: Autoria própria.

No dimensionamento dos processos, foi utilizado o software Repetier, que cria

as camadas de impressão. É neste programa que as variáveis de projeto (Camada e Preenchimento) foram modificadas e aplicadas seguindo a Tabela 1, assim variando o processo de fabricação para cada ciclo de amostras.

Para iniciar a impressão das amostras, aqueceu-se a mesa da impressora até a temperatura de funcionamento, limpou-se a base de impressão, aplicou-se o adesivo para aderência da peça, e iniciou-se através do *software* Repetier, a impressão das amostras. Foram realizados oito processos de impressão, ou seja, oito processos com a impressão de cinco amostras por vez.

Com os quarenta corpos de prova (amostras) já impressos, a próxima etapa foi realizar os ensaios de tração, utilizando uma máquina própria para esse tipo de experimento, como pode ser visto na Figura 4, denominada de Máquina Universal de Ensaios.



Figura 4 - Máquina universal de ensaios, EMIC

Fonte: Autoria própria.

Essa etapa foi realizada da seguinte maneira:

- Montou-se o corpo de prova na máquina de ensaios, fixando-os pelas extremidades;

- Zerou-se todos os indicadores (deformação e carga) da máquina, a fim de que os parâmetros Carga (Kgf) e alongamento (mm) estivessem prontos para início do ensaio de tração;

- Iniciou-se o ensaio apertando o botão "*Start*" do equipamento e;

- O experimento foi considerado finalizado quando o corpo de prova se rompeu.

Como regra, a ruptura deve sempre ocorrer na menor seção de área do corpo de prova e caso ocorra fora dessa região, o ensaio deveria ser refeito. Como não houve problemas durante os experimentos, todas as amostras foram aprovadas.

Como o equipamento de tração utilizado não gera gráficos de tensão versus deformação automaticamente, foi necessário filmar os ensaios de tração, para posteriormente criar os gráficos e fazer as conversões.

O equipamento gera gráficos de Carga versus Alongamento, sendo que para criar os gráficos de Tensão *versus* Deformação, foi necessário realizar os seguintes procedimentos:

- Converter a Carga (Kgf - quilograma força) em tensão (MPa - Mega Pascal), sendo necessário dividir a carga, já convertida em N, pela menor área (mm²) da secção transversal da amostra, segundo a equação 1:

$$\sigma = \frac{F}{A} \frac{[\mathrm{N}]}{[\mathrm{mm}^2]} \text{ ou } [\mathrm{MPa}] \qquad (1)$$

- Transformar o alongamento em deformação específica, segundo a equação 2:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \frac{[\mathrm{mm}]}{[\mathrm{mm}]} \qquad (2)$$

Como resultado dos ensaios de tração, obteve-se um gráfico de Tensão versus deformação para cada corpo de prova, conforme exemplo na Figura 5.

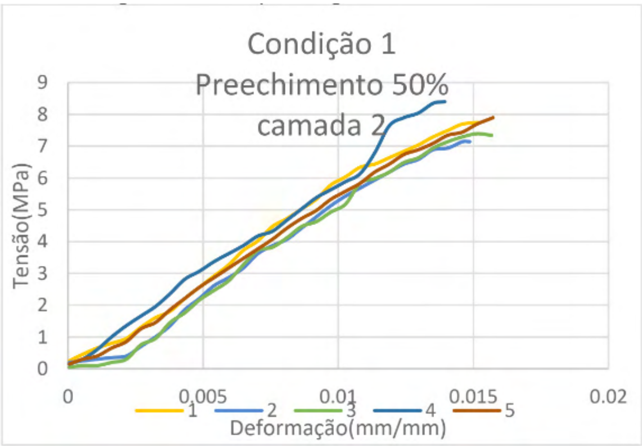



Figura 5: Exemplo do gráfico Tensão versus Deformação

Fonte: Autoria Própria.

Com a curva característica de cada amostra gerada pela máquina de ensaios, foi possível levantar dados importantes sobre como o corpo de prova se comportou quando foi tracionado. As principais características da amostra são nomeadas e descritas da seguinte maneira (RUCKERT, 2018):

- Tensão de Escoamento: É o ponto entre o final do regime elástico e a entrada do regime plástico.
- Módulo de Young (elasticidade): Determina a rigidez do material, quanto maior o módulo, mais tensão é necessário ser aplicada para que haja deformação elástica.
- Tensão máxima de tração: É a tensão máxima que o material pode suportar antes de romper.

Os dados obtidos nos experimentos foram tratados de maneira estatística, seguindo como base a Tabela 2.

| Condição | Polímeros | Preenchimento | Camada | Tensão max. de Tração (MPa) | Módulo de elasticidade (E= GPa) | Tensão de Escoamento (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | PLA | P50 | CM2 | | | |
| 2 | PLA | P50 | CM5 | | | |
| 3 | PLA | P75 | CM2 | | | |
| 4 | PLA | P75 | CM5 | | | |
| 5 | ABS | P50 | CM2 | | | |
| 6 | ABS | P50 | CM5 | | | |
| 7 | ABS | P75 | CM2 | | | |
| 8 | ABS | P75 | CM5 | | | |

Tabela 2 - Exemplo da tabela de dados obtidos nos experimentos

Fonte: Autoria Própria.

## 4 I RESULTADOS E DISCUSSÕES

Seguindo toda metodologia pré-determinada, todas as quarenta amostras foram impressas e tracionadas com sucesso. Porém ao iniciar o processo de impressão 3D, foi necessário fixar algumas variáveis, pois o software que opera a impressora apresenta diversas opções para mudanças de parâmetros, sendo que neste trabalho foram estudados apenas três deles. Entre as diversas variáveis fixadas, o ângulo de impressão (ângulo de raster) segundo LANZOTTI (2015) tem melhor desempenho nos ensaios de tração a 90º, sendo esse valor fixado também neste trabalho.

Na Tabela 3, estão apresentados os principais parâmetros e seus valores utilizados no software Repetier:

**Parâmetros de impressão para o PLA**

Diâmetro do filamento: 1,75mm
Cor do filamento: Marrom

**Temperatura de extrusão**

| | |
|---|---|
| Bico de extrusão | 210°C |
| Mesa de impressão | 60°C |
| Ambiente | 25°C |
| Ângulo de impressão | 90° |

**Preenchimento**

| | |
|---|---|
| Condição 1 - 2 | 50% |
| Condição 3 - 4 | 75% |

**Parâmetros de impressão para o ABS**

Diâmetro do filamento: 1,75mm
Cor do filamento: Laranja

**Temperatura de extrusão**

| | |
|---|---|
| Bico de extrusão | 235°C |
| Mesa de impressão | 100°C |
| Ambiente | 25°C |
| Ângulo de impressão | 90° |

**Preenchimento**

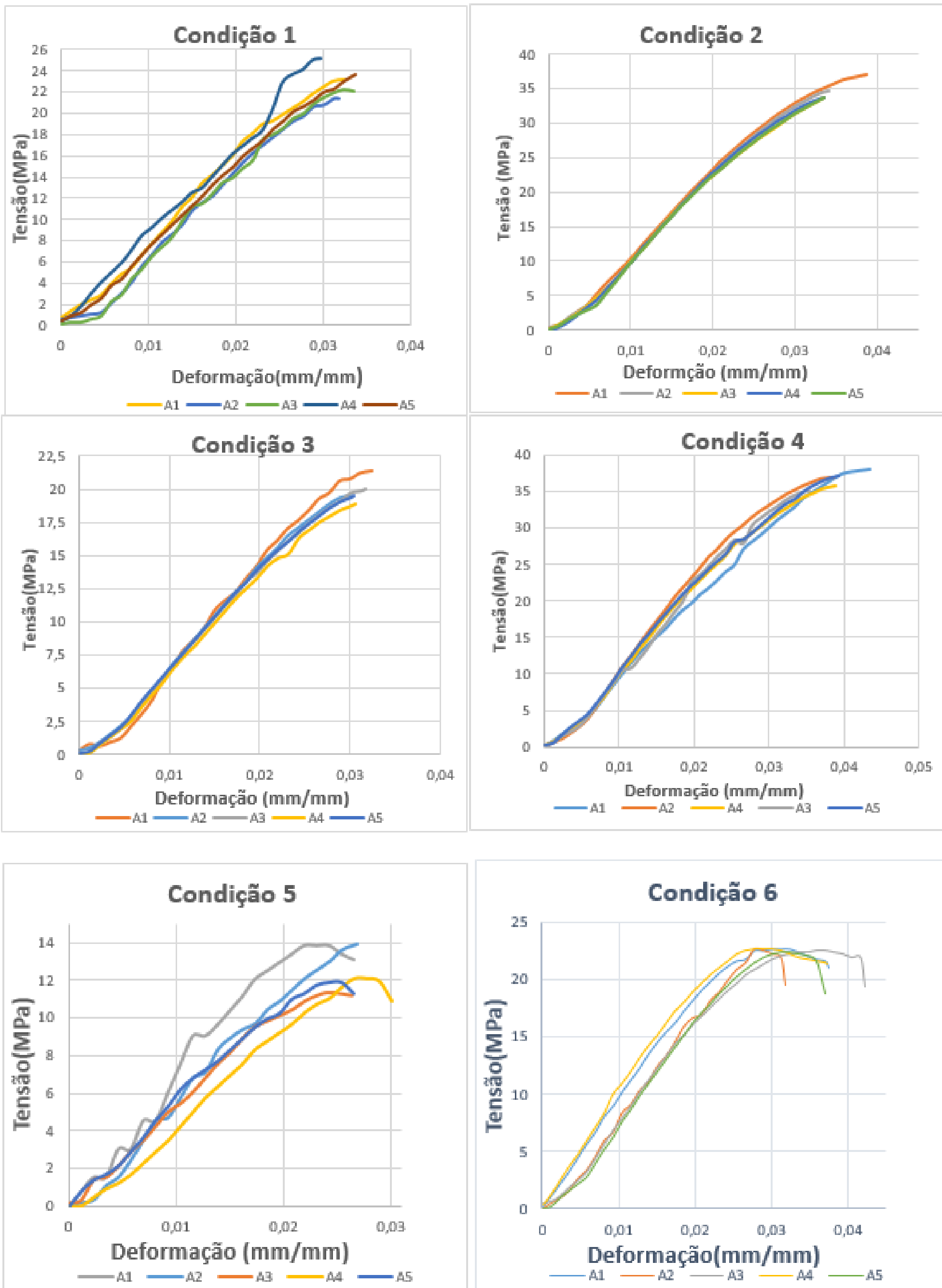
| | |
|---|---|
| Condição 5 - 6 | 50% |
| Condição 7 - 8 | 75% |

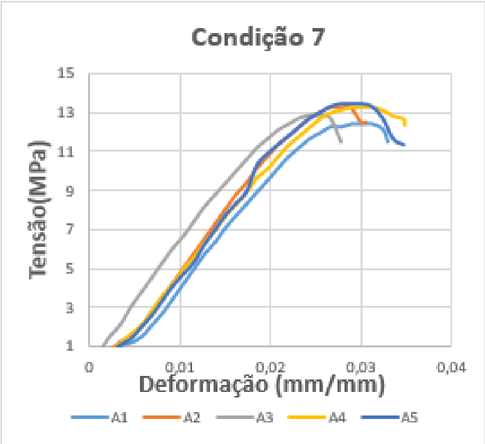
A impressora não possui cabine de isolamento térmico.

Tabela 3 - Parâmetros utilizados no *software*.

Fonte: Autoria Própria.

Após experimentos realizados no laboratório de ensaios de tração, obteve-se os seguintes gráficos de Tensão *versus* Deformação, apresentados na Figura 6:





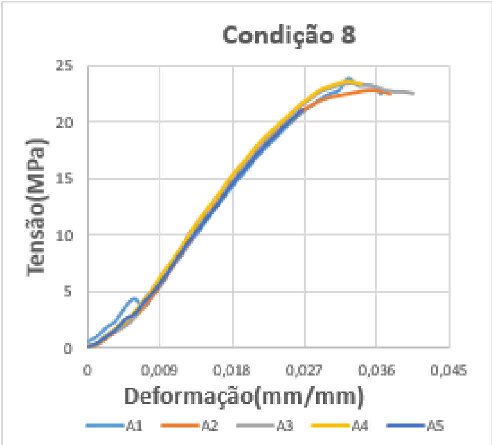




Figura 6 - Gráficos de Tensão *x* Deformação

Fonte: Autoria Própria.

Apresentados os gráficos, pode-se afirmar que todas as amostras se comportaram dentro do esperado, tendo poucas variações entre as amostras do mesmo ensaio, ou seja, no ciclo de ensaios de cada condição, as cinco amostras tiveram comportamento similar. Com a observação de resultados relevantes nos gráficos, foi construída a Tabela 4 para melhor visualização dos resultados obtidos:

| Condição | Polímeros | Preenchimento | Camada | Tração max. (MPa) | Módulo de elasticidade (E=GPa) | Tensão de Escoamento(MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | PLA | P50 | CM2 | 23,1438 | 0,8091 | 20,8506 |
| 2 | PLA | P50 | CM5 | 34,5498 | 1,3050 | 22,3593 |
| 3 | PLA | P75 | CM2 | 19,8548 | 0,8170 | 13,8199 |
| 4 | PLA | P75 | CM5 | 36,6318 | 1,0597 | 26,4932 |
| 5 | ABS | P50 | CM2 | 12,6431 | 0,7204 | 9,8067 |
| 6 | ABS | P50 | CM5 | 22,5403 | 1,0023 | 20,4281 |
| 7 | ABS | P75 | CM2 | 13,0354 | 0,6108 | 12,0094 |
| 8 | ABS | P75 | CM5 | 23,3852 | 0,9188 | 20,4885 |

Tabela 4 - Dados obtidos nos gráficos

Fonte: Autoria Própria.

Pode-se afirmar que:

- A condição que obteve melhor desempenho no ensaio de tração, foi a 4.
- A condição que obteve pior desempenho no ensaio de tração, foi a 5.

Para avaliar quais parâmetros influenciam os resultados, foi utilizado o processamento estatístico pelo método de Pareto, utilizando como ferramenta o *software*

Minitab®, que gerou três gráficos, tendo como respostas a Tensão Máxima de Tração, o Módulo de Elasticidade e a Tensão de escoamento. A seguir os gráficos apresentados pelas Figuras 7, 8 e 9.

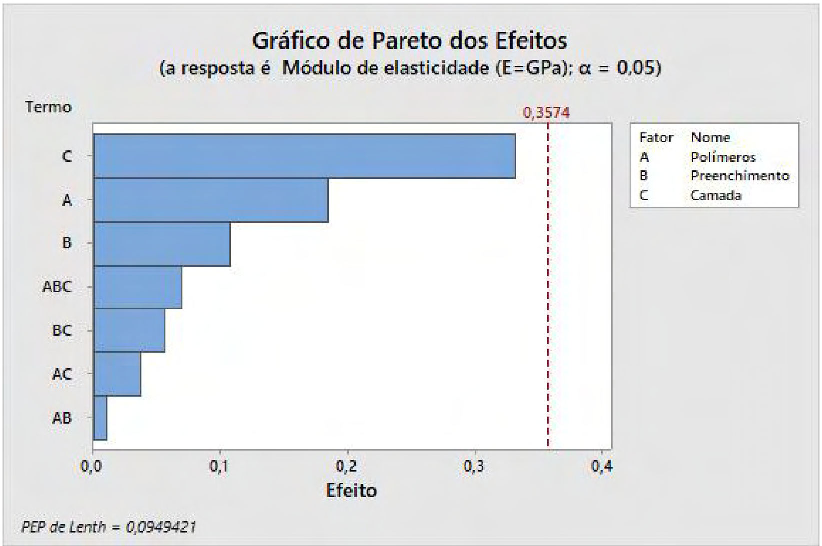



Figura 7 - Gráfico de Pareto - Módulo de elasticidade

Fonte: Autoria Própria.

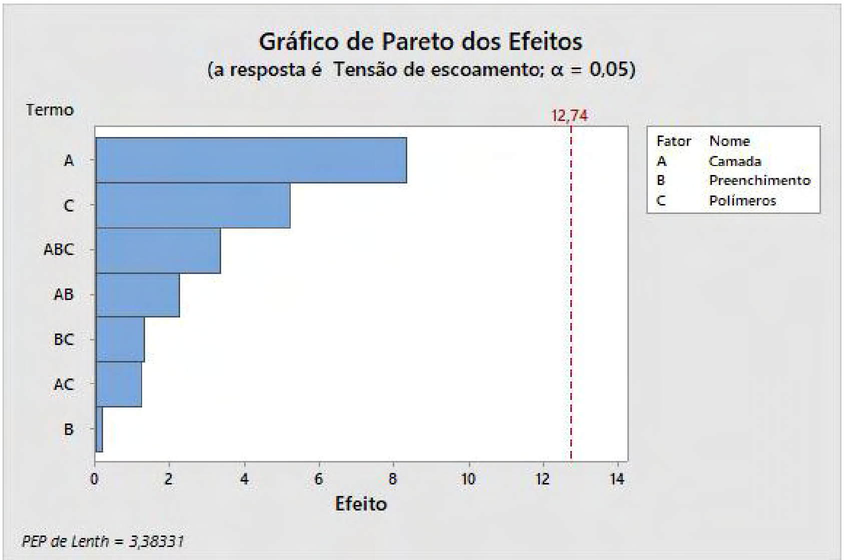



Figura 8 - Gráfico de Pareto - Tensão de escoamento

Fonte: Autoria Própria.

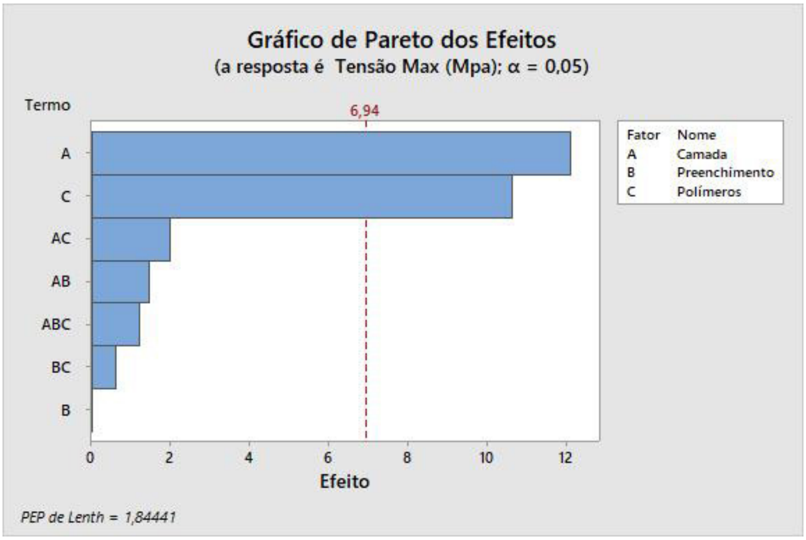



Figura 9: Gráfico de Pareto - Tensão máxima

Fonte: Autoria Própria.

Conforme ilustrado nos gráficos, os únicos parâmetros que apresentaram influência, foram a Camada de impressão e o Polímero de fabricação, ainda que este último somente na resposta Tensão máxima de Tração. Nas demais respostas, nenhum parâmetro apresentou influência significativa. O parâmetro que menos influenciou as respostas, foi o preenchimento.

A condição 4 apresenta melhor desempenho devido ao fato de haver o aumento na camada de impressão. A mudança de camada de dois para cinco filamentos, causa o aumento da área de material sólido nas amostras, conforme mostra a Figura 10.




Figura 10 - Diferença entre as camadas de impressão

Fonte: Autoria Própria.

Pode-se observar na equação da tensão, que quando a área de secção transversal da amostra é aumentada, mantendo a mesma força, a tensão nessa área diminuiu, ou seja, a força aplicada é distribuída em uma área maior, fazendo com que a amostra resista a uma tensão maior de tração.

Já a condição 5, apresentada como a que teve o pior desempenho, pode-se explicar esse fato é devido a mudança de polímero. Como também pôde ser visto na Tabela 4, todos os ensaios que foram utilizados o ABS como matéria prima, o desempenho foi inferior ao do polímero PLA. Essa deficiência de resistência está associada diretamente com a estrutura molecular de cada material e pode ser confirmada pelos gráficos dos ensaios. O ABS apresenta menor tensão de escoamento que a do PLA, ou seja, o seu regime elástico é menor que o do PLA.

A não influência do preenchimento nos ensaios de tração, pode ser explicada pela pouca variação de massa das amostras, conforme mostra a Tabela 5:

| Massa das Amostras (gramas) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Condição | Polimeros | Preenchimento | Camada | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | Média |
| 1 | PLA | P50 | CM2 | 10,118 | 10,115 | 10,085 | 10,085 | 10,167 | 10,1140 |
| 2 | PLA | P50 | CM5 | 14,315 | 14,282 | 14,271 | 14,239 | 14,258 | 14,2730 |
| 3 | PLA | P75 | CM2 | 10,401 | 10,304 | 10,314 | 10,291 | 10,293 | 10,3206 |
| 4 | PLA | P75 | CM5 | 14,554 | 14,56 | 14,486 | 14,575 | 14,567 | 14,5484 |
| 5 | ABS | P50 | CM2 | 8,116 | 8,104 | 8,119 | 8,123 | 8,176 | 8,1276 |
| 6 | ABS | P50 | CM5 | 11,355 | 11,374 | 11,346 | 11,369 | 11,35 | 11,3588 |
| 7 | ABS | P75 | CM2 | 8,188 | 8,239 | 8,183 | 8,168 | 8,168 | 8,1892 |
| 8 | ABS | P75 | CM5 | 11,29 | 11,297 | 11,266 | 11,276 | 11,271 | 11,2800 |

Tabela 5 - Massa das amostras

Fonte: Autoria Própria.

Devido a massa ter pouca variação, comparando o P50 e P75, não houve aumento significativo da área de secção transversal, tendo variação de aproximadamente 1 MPa de um parâmetro para outro na Tensão Máxima de Tração.

## 5 I CONCLUSÕES

Todos os experimentos realizados foram de suma importância para o crescente desenvolvimento da tecnologia de impressão tridimensional. Os resultados apresentados neste trabalho, como a comprovação que o polímero impresso PLA é mais resistente a tração que o impresso ABS; a afirmação que a camada externa de impressão é o parâmetro de maior influência na resistência mecânica, e também que o preenchimento não tem efeito significativo nos ensaios realizados. Essas afirmações demonstram a importância da realização de pesquisas em tecnologias emergentes, pois se tratam de tecnologias com pouca literatura. Algumas limitações de laboratórios durante os estudos dificultaram os procedimentos empíricos, podendo apontar como problema o equipamento de tração ser antigo e a impressora 3D ter apresentado alguns problemas de fixação das amostras na mesa e impressão. A ausência de literatura sobre o tema também dificultou a comparação dos dados obtidos com demais trabalhos já realizados. Felizmente o resultado final não foi prejudicado. Para futuras pesquisas, a sugestão é o estudo da influência da temperatura de impressão e a diferença de resistência mecânica entre polímeros de baixa qualidade e polímeros de engenharia. As afirmações apresentadas, poderão auxiliar engenheiros, projetistas e entusiastas da produção de peças por impressão 3D, a melhorar e otimizar seus projetos, obtendo melhorias na resistência mecânica de suas peças.

## REFERÊNCIAS

ABREU, 2015: FDM – MODELAGEM POR FUSÃO E DECOMPOSIÇÃO SAC Abreu - 2015 - repositorio-aberto.up.p. Disponível em: <https://scholar.google.com.br/scholar?hl=ptBR&as_sdt=0%2C5&q=SLA+%28Estereolitografia%29+Abreu&btnG=> Acesso em: 10 de abril de 2018.

CANEVAROLO S.V. JR: CIÊNCIA DOS POLÍMEROS: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros 2º ed. p.35 2006

FILHO, Getúlio de Medeiros Campos; Raimundo Nonato da Alves Silva; José Costa de Macedo Neto; Charles Ribeiro de Brito; Maria do Perpetuo Socorro Lamego Oliveira; ENSAIO DE TRAÇÃO EM POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD) Vs. A LITERATURA COMERCIAL, 2017. Acesso em: 27 de setembro de 2018.

JAHNO, Vanusa Dalosto, Síntese e caracterização do Poli (L-ácido láctico) para uso como biomaterial; Dissertação para obtenção do título de mestre em engenharia; p.16, 2005. Acesso em 27 de setembro de 2018.

LANZOTTI, 2015; Antonio Lanzotti Marzio Grasso Gabriele Staiano Massimo Martorelli , (2015),"The impact of process parameters on mechanical properties of parts fabricated in PLA with an open-source 3-D printer", Rapid Prototyping Journal, Vol. 21 Iss 5 pp.

MELENKA 2015 - Garrett W. Melenka, Jonathon S. Schofield, Michael R. Dawson, Jason P. Carey , (2015),"Evaluation of dimensional accuracy and material properties of the MakerBot 3D desktop printer", Rapid Prototyping Journal, Vol. 21 Iss 5 pp. 618 - 627

MONTGOMERY, D.C., 1943- Estatística aplicada engenharia / Douglas C. Montgomery, George C. Runger, Norma Faris Hubele; tradução Verônica Calado. - 2.ed. - [Reimpresso.]. - Rio de Janeiro: LTC, 2013. p354.

NORMA ASTM D638, disponível em https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4336053/mod_resource/content/4/D638.1207962-1.pdf, acesso em 10/5/2018.

RUCKERT, Cassius O.F. Terra; - Introdução aos Ensaios Mecânicos dos Materiais. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

SCULPTEO, 2016 ; Hannah Bensoussan; The History of 3D Printing: 3D Printing Technologies from the 80s to Today. Disponível em: https://www.sculpteo.com/blog/2016/12/14/the-history-of-3d-printing-3d-printing-technologies-from-the-80s-to-today/> Acesso em: 19 de novembro de 2018.

TOMÁS, 2011 - GUSTAVO F. B. , PANKAJ A., EDCLEIDE M. A. , TOMÁS J. A. DE M., 2011: Tenacificação do Poli(Ácido Lático) pela Adição do Terpolímero (Etileno/Acrilato de Metila/Metacrilato de Glicidila): Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, PPG-CEMat/UFCG: Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/po/2012nahead/aop_0938.pdf > Acesso em: 10 de abril de 2018.

# CAPÍTULO 19

# DESENVOLVIMENTO DE MODELOS DENTÁRIOS ATRAVÉS DA MANUFATURA ADITIVA

**Guilherme de Faria Mendes**
Universidade São Francisco
Itatiba - SP
http://lattes.cnpq.br/4789525714881935

**Vinícius Fernandes Moreira Alves**
Universidade São Francisco
Itatiba - SP
http://lattes.cnpq.br/4786310489729021

**Daniel Loureiro**
Universidade São Francisco
Itatiba - SP
http://lattes.cnpq.br/8970219282129453

**RESUMO:** Após a 2° Guerra Mundial, a tecnologia teve um auge em seu desenvolvimento promovendo um avanço que consolidava políticas incentivadoras dessa ascensão tecnológica. A tecnologia, ao decorrer dos anos, desenvolveu-se exponencialmente e isso resultou na evolução de diversos aparelhos eletrônicos e, principalmente, na criação de mecanismos que visam facilitar a vida das pessoas. Um dos equipamentos advindos desse desenvolvimento tecnológico é a impressora 3D, ou processo de manufatura aditiva, que vem sendo utilizada com uma maior frequência atualmente, inovando em métodos e processos de fabricação, até então, existentes. A modelagem 3D abre inúmeras possibilidades, as quais são de grande valia para meios não só como acadêmico, industrial, de prototipagem, mas também todas as áreas da saúde, como por exemplo, a odontologia. O processo de manufatura aditiva é um processo viável, de baixo custo e fácil implantação, com grande rendimento e efetividade e vem ganhando cada vez mais força em todas as áreas, desde a prototipagem até grandes processos industriais. Existem barreiras no meio acadêmico quando se trata do estudo aprofundado em anatomia, tais como falta de estruturas anatômicas disponíveis para estudo dos discentes em meio laboratorial e seu tamanho reduzido. Neste contexto, o presente estudo teve por objetivo a aplicação e demonstração da manufatura aditiva no desenvolvimento de modelos dentários, através da impressão 3D, para fins de estudos acadêmicos, demonstrando e comprovando que através deste processo de fabricação haverá uma melhor abordagem didática, em anatomia odontológica, por parte dos discente e docentes do curso de odontologia da Universidade São Francisco do *campus* de Bragança Paulista-SP, permitindo-lhes um estudo mais aprofundado e uma melhor fixação do conteúdo. Para isso, foram construídos modelos dentários através de *softwares* CAD (*Computer Aided-Design*), foi feita sua impressão utilizando o método de manufatura aditiva, impressão 3D, concluindo e validando a metodologia proposta através dos resultados obtidos neste estudo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Manufatura aditiva; Impressão 3D; Modelagem; Anatomia odontológica.

**ABSTRACT:** Post-war, technology had a peak in its development promoting an advance that consolidated encouraging policies of technological

rise. Technology, over the years, has developed exponentially and this resulted in the evolution of several electronic devices and, mainly, in the creation of mechanisms that aim to facilitate people's lives. One of the equipment resulting from this development is the 3D printer or additive manufacturing process, which has been used more frequently actually, innovating in methods and processes of manufacture, until then, existing. 3D modeling opens up numerous possibilities, which are of great value for means not only as academic, industrial, prototyping, but also all areas of health, such as dentistry. The additive manufacturing process is a viable, low-cost and easy-to-implement process, with great efficiency and effectiveness and has been gaining more strength in all areas, from prototyping to large industrial processes. There are barriers in the academic environment when it comes to in-depth study in anatomy, such as the lack of anatomical structures available for the study of students in the laboratory environment and its reduced size. In this context, the present study aimed to apply and demonstration of additive manufacturing in the development of dental models, through 3D printing, for the purposes of academic studies, demonstrating and proving that through this manufacturing process will be a better didactic approach, in dental anatomy, on the part of the students and professors of the dentistry course at the São Francisco University, on the Bragança Paulista, SP, allowing them to further study and better fix the content. For that, dental models were built using CAD (Computer Aided-Design) Software, where their impression was made using the additive manufacturing method, 3D printing, concluding and validating the proposed methodology through the results obtained in this study.
**KEYWORDS:** Additive Manufacturing; 3D printing; Modeling; Dental Anatomy.

## 1 | INTRODUÇÃO

No pós-guerra, a tecnologia teve um auge em seu desenvolvimento, sendo este o estopim da evolução e contentamento da sociedade. Tal avanço consolidava políticas que incentivaram a ascensão da tecnologia, desconsiderando efeitos desastrosos que poderiam eclodir (SHAHRUBUDIN; LEE; RAMLAN, 2019).

A tecnologia, ao decorrer dos anos, desenvolveu-se exponencialmente e isso resultou na evolução de diversos aparelhos eletrônicos e, principalmente, na criação de mecanismos que visam facilitar a vida das pessoas. Um dos equipamentos advindos desse desenvolvimento tecnológico é a impressora 3D que, constantemente, tem sido utilizada por empresas. Isso detém de um acentuado crescimento em recursos computacionais gráficos, que possibilitam o desenvolvimento de modelos tridimensionais com os mais sofisticados *softwares* computacionais (WEN, 2016). A modelagem 3D abre inúmeras possibilidades, as quais são de grande valia para meios não só como acadêmico, industrial, de prototipagem, mas também todas as áreas da saúde, como por exemplo, a odontologia.

Com a globalização e o rápido avanço da tecnologia foi possível que as pesquisas e o desenvolvimento de máquinas de manufatura aditiva pudessem ser eficazes no futuro (WEN, 2016). A impressão 3D, ou manufatura aditiva, é uma tecnologia não muito recente

que vem sendo estudada desde meados do ano de mil novecentos e oitenta (1980) (LOPES, 2014). Esta, consiste na fusão de um material polimérico, metálico, ou até mesmo a adição de outros tipos de materiais, ordenando-os em camadas. A junção de todas as camadas viabiliza o processo de impressão 3D de objetos, casas, protótipos para estudos, facilitando a compreensão e melhorando a interpretação de resultados.

Os materiais mais utilizados para esse processo são polímeros do tipo PLA e ABS, e comumente utilizam-se destes para impressão de estruturas didáticas e educacionais (WEN, 2016). Como dito anteriormente, atualmente existem máquinas que imprimem com diversos tipos de materiais, não só polímeros. Essa diversificação permite um baixo custo de produção e viabiliza a sua obtenção para uma utilização adequada.

Existem barreiras no meio acadêmico quando se trata do estudo aprofundado em anatomia, tais como falta de estruturas anatômicas disponíveis para estudo dos discentes em meio laboratorial (WEN, 2016). Este recurso de manufatura aditiva, possibilita a impressão de modelos educacionais ausentes, para que haja um estudo coletivo e uma maior compreensão através de modelos didáticos previamente desenvolvidos e impressos em ambiente acadêmico. Nem sempre no meio acadêmico há, disponível, estruturas para estudo, e o desenvolvimento de modelos dentários em 3D, como também sua impressão, através deste recurso de manufatura aditiva permite-se a solução prévia desse problema, citado anteriormente.

A técnica de impressão 3D revolucionou a odontologia, provando benefícios na área de odontologia cirúrgica e restauradora e continua a expandir suas aplicações em diversas pesquisas e educação odontológica. A chave do seu sucesso reside no fato de que são utilizados diversos materiais, como metal, resina e plástico, expandindo seu uso em diferentes campos da odontologia (KOHLI, 2019). As aplicações da impressão 3D, dentro do ramo odontológico, incluem a produção de guias de broca para implantes dentários e de modelos físicos para prótese, ortodontia e cirurgia (DAWOOD et al., 2015).

Neste contexto, este estudo visa trabalhar acerca do desenvolvimento de modelos dentários através da impressão 3D para fins de estudos acadêmicos. Atualmente, os discentes do curso de odontologia têm um acesso limitado quanto à quantidade e ao tamanho dos modelos atuais. Desta maneira, alunos e professores conseguirão realizar um estudo mais aprofundado, pois ambos poderão interagir com o modelo fazendo anotações e observações, tendo em vista que o próprio estará em escala ampliada, melhorando, assim, a abordagem didática da anatomia odontológica. Para isso, serão construídos modelos dentários através de *softwares* CAD (*Computer Aided-Design*), e posteriormente serão impressos utilizando o método de manufatura aditiva, impressão 3D, e serão feitos levantamentos para analisar se houve conclusão plausível do estudo.

## 2 I REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Polímeros

Um polímero é uma macromolécula composta, que contém milhares de unidades de repetição classificadas como meros, que são unidos por uma ligação covalente. A principal matéria-prima considerada para a produção de um polímero é o monômero, constituído apenas de uma molécula onde há apenas uma unidade de repetição. A sua classificação varia de acordo com sua estrutura química, do número médio de meros por cadeia e do tipo de ligação covalente, que por fim podem ser divididos em três grandes classes: plásticos, borrachas e fibras (CANEVAROLO JUNIOR, 2006).

Os polímeros do tipo acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) tem seu início em meados de 1940, quando na tentativa de se produzir folhas plásticas à prova de balas, sistemas poliméricos especiais foram desenvolvidos a partir de copolímeros de butadieno-acrilonitrila e copolímeros de acrilonitrila-estireno. Os primeiros materiais desenvolvidos apresentavam uma alta resistência ao impacto e baixa fluidez, restringindo-os apenas ao processo de extrusão. Alguns produtos semiacabados como folhas, perfis e tubos foram os primeiros moldados em ABS, no qual a superfície apresentava aspecto opaco e não homogênea. A melhoria da fluidez dos materiais permitiu que outras formas de processamento do ABS, como a injeção fossem adotadas, abrindo espaço para desenvolvimento de polímeros de engenharia (MARCONDES, 2015).

A sigla ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) foi originalmente utilizada para descrever as várias misturas de copolímeros que continham acrilonitrila, butadieno e estireno em sua composição. Este tipo de polímero é considerado um terpolímero por ter sua cadeia principal formada por três unidades de repetição (meros) diferentes: acrilonitrila, butadieno e estireno (CANEVAROLO, 2006 apud MARCONDES, 2015).

No meio industrial, os terpolímeros são usualmente referenciados como copolímeros, sendo que estes apresentam mais de uma unidade de repetição na cadeia polimérica e sua estrutura química é formada principalmente por uma cadeia de homopolímero polibutadieno enxertada com cadeias menores de copolímero aleatório de estireno-acrilonitrila, como mostrado na Figura 1 (CANEVAROLO, 2006).

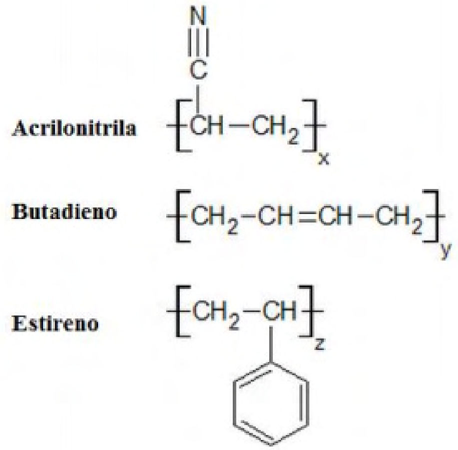



Figura 1 - Representação esquemática da estrutura molecular dos meros que compõem o ABS.

Fonte: CANEVAROLO JUNIOR, 2006.

## 2.2 Manufatura aditiva e o processo de impressão 3D

Ao longo do tempo, as impressoras 3D evoluíram e modernizaram-se ficando cada vez menores e mais tecnológicas com o adendo à conexão em dispositivos computacionais, imprimindo objetos com diversas geometrias e diversos materiais, ampliando sua resolução. Mesmo havendo melhoras, este dispositivo teve uma grande popularização incluindo empresas que se beneficiam dos recursos da impressora 3D (DANTAS et al., 2018).

O advento da tecnologia de impressão em três dimensões (3D) fez com que a ficção científica se tornasse mais próxima da realidade, facilitando, dessa forma, a criação de objetos personalizados a partir de um projeto virtual (VENTOLA; ISHENHOMA, 2014 apud MATOZINHOS, 2017). Com o desenvolvimento da técnica, a impressão 3D alcançou diversas áreas como a indústria automobilística, aeroespacial, de alimentos entre outras, chegando a ser comercializada em grande escala, criando assim várias possibilidades de uso dessa tecnologia (MATOZINHOS et al., 2017).

No processo de impressão 3D são feitos fatiamentos do modelo, horizontalmente, tendo como resultado camadas do modelo que é impresso através do processo de manufatura aditiva, sobrepondo as camadas para construir o protótipo (TAKAGAKI, 2012 apud ABREU, 2017). A impressão 3D reduz gastos e desperdícios com recondicionamento de moldes, através da impressão com polímero acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS), este modelo permite a visualização prévia do projeto sem que seja necessário investimentos em outros processos de fabricação por terceiros (DANTAS et al., 2018). A impressão 3D é realizada em cinco passos, seguindo a ordem da Figura 2 (TAKAGAKI, 2012 apud DANTAS et al., 2018).




Figura 2 - Cinco passos da impressão 3D.

Fonte: Adaptada TAKAGAKI, 2012 apud DANTAS et al.,2018.

1) Criação do modelo em *software* CAD (*Computer Aided-Design*);

2) Converter o arquivo CAD para o formato STL;

3) O *software* CAD faz o fatiamento automático quando há a conversão para STL;

4) O modelo é descrito em linguagem CNC (Comando Numérico Computadorizado), denominada linguagem G. O próprio *software* define o melhor traçado no plano de referência e define os pontos de referência para que o modelo fatiado seja interpretado pela impressora 3D e consequentemente impresso;

5) Interpretação do código em linguagem G pela impressora e dá-se início à impressão até obter o protótipo finalizado;

O processo de impressão em 3D favorece a melhoria do processo de produção em indústrias, bem como diversas áreas que aplicam essa tecnologia, como desperdício nulo, cativação populacional, customização, inovação, prototipagem rápida e com alto nível de detalhamento, redução de custo e tempo e por fim, melhorar o armazenamento de matéria-prima e auxilia na produção (SCRIPT, 2017 apud DANTAS, 2018).

Os processos de fabricação consistem na moldagem, subtração, conformação, união e na divisão de material, conforme a Figura 3, no fim do ano de 1980 foi criado um processo de fabricação que é embasado na adição de material, conhecido como manufatura aditiva, ou popularmente como impressão 3D. A manufatura aditiva consiste em um processo de fabricação, no qual há a adição ou deposição sucessiva de material, a partir de geometrias geradas em *softwares* de desenho assistido por computador (CAD - *Computer Aided Design*), sendo que, atualmente, há uma vasta lista de materiais passíveis de utilização na manufatura aditiva (VOLPATO et al., 2017).

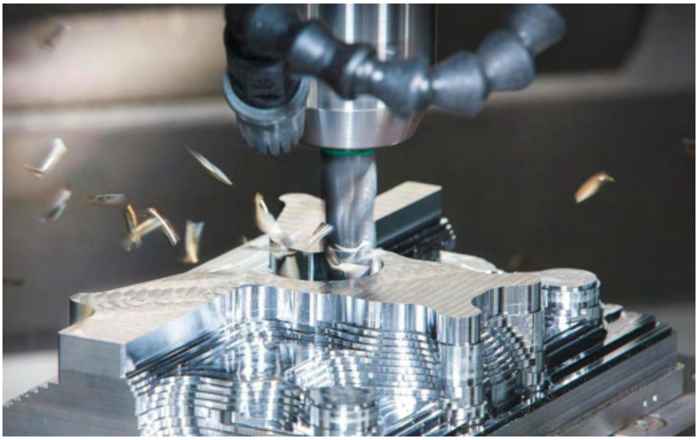


Figura 3 - Processo de fabricação por subtração.

Fonte: VAROTSIS, 2020.

Este processo despertou em indústrias e pesquisadores um alto interesse, pois traz benefícios que até então processos anteriores de fabricação não lhes proporcionavam, como a impressão de geometrias complexas, segundo a Figura 4, menor tempo para a obtenção de protótipos e seu estudo e consequentemente insere uma nova onda de inovação (GUTIERRES et al., 2017). A partir disso, pode-se dizer que haverá uma mudança que diz respeito ao âmbito do processo e desenvolvimento do produto (PDP) (FALUDI et al., 2015 apud GUTIERRES et al., 2017). Vale ressaltar que é um processo de fácil automação e elevada integração entre os atuais meios de fabricação que estão disponíveis hoje, devido a seu modo de operação e embasamento (VOLPATO et al., 2017).



Figura 4 - Processo de manufatura aditiva através da Impressão 3D.

Fonte: COROMANT, 2019.

## 2.3 Anatomia e função mecânica do dente

O dente é uma estrutura óssea que em conjunto tem como função não só a

mastigação, como também a sustentação de tecidos e proteção, auxiliando na fala e na estética facial. Existem quatro grupos de dentes que são os incisivos, caninos, pré-molares e molares, cada grupo possui sua respectiva função mecânica e função anatômica, sendo apreender, cortar, rasgar e triturar, respectivamente. Sua formação consiste em coroa, raiz e uma região intermediária denominado colo, sendo que a raiz fornece a sustentação mecânica do dente nos tecidos conforme a Figura 5 (MADEIRA, 2007).

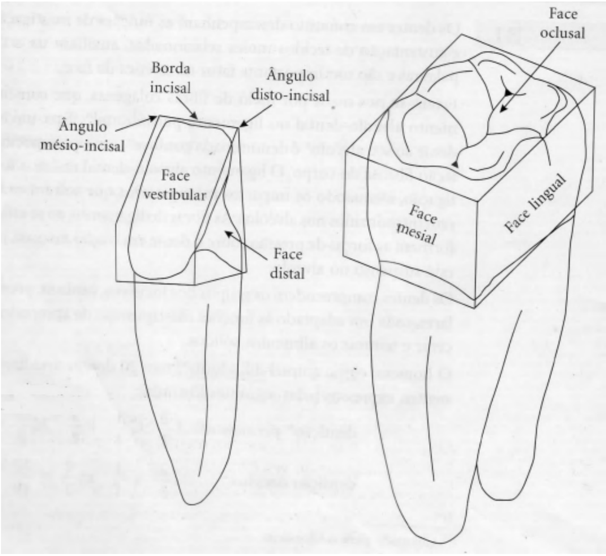



Figura 5 - Coroas de dentes incisivo e molar, com destaque para suas faces.

Fonte: Madeira, 2007.

## 3 | METODOLOGIA

O estudo realizado, visou, suprir uma deficiência acadêmica através de uma explanação de uma nova tecnologia que permite a melhora da abordagem didática de estudo, através da modelagem em CAD e a impressão em 3D do modelo. Utilizou-se a ferramenta de mapa mental, *Brainstorming* como na Figura 6, para obter dados e consolidar as informações sobre o estudo, através de uma dinâmica de grupo que consiste em responder questões de extrema relevância e que delineie todo o processo de desenvolvimento do estudo.




Figura 6 – Questões relevantes para o estudo (Ferramenta 5W2H)

Fonte: Adaptada J&P, 2016.

Após o término do *Brainstorming* pôde-se detalhar passo a passo cada etapa metodológica definida, desde o levantamento dos dados até a consolidação dos dados, tal qual a Figura 7.

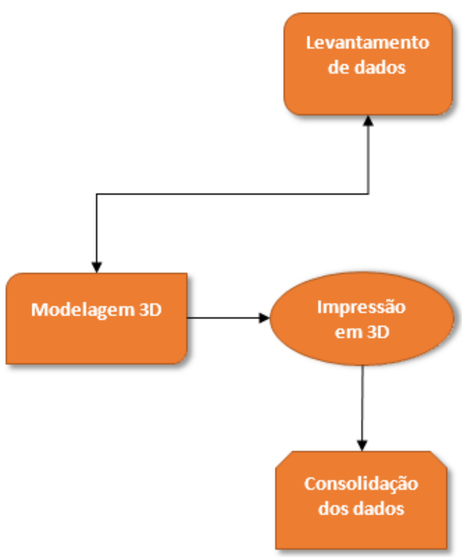



Figura 7 – Fluxograma metodológico

Fonte: Próprio autor.

## 3.1 Levantamento de dados

Inicialmente realizou-se uma entrevista, via *Google Meet*, com um especialista na área e atuante em docência, para ter ciência das dificuldades encontradas e quais são as deficiências que os discentes possuem. A maior deficiência encontrada foi quanto ao tamanho dos modelos dentários e a quantidade disponível para estudo didático, sendo que nem sempre o discente pode interagir com o modelo dentário por motivos de preservação e protocolos da universidade. Este levantamento foi inserido em uma tabela para melhor organização e visualização dos dados, conforme a Tabela 1.

| Problemática | Nível |
|---|---|
| Quantidade disponível | Baixo |
| Tamanho do modelo | Pequeno |
| Interação | Baixo |

Tabela 1 – Relação: Problemática; Nível.

Fonte: Próprio Autor.

Realizou-se, também, o levantamento de quais tipos de modelos dentários que há pouca disponibilidade, dentre eles foram citados os incisivos, caninos, pré-molares e molares, conforme a Tabela 2.

| Tipo Dentário | Disponibilidade |
|---|---|
| Incisivos | Baixa |
| Caninos | Baixa |
| Pré-molares | Baixa |
| Molares | Baixa |

Tabela 2 – Relação: Tipo dentário; Disponibilidade.

Fonte: Próprio Autor.

## 3.2 Modelagem CAD

A partir da análise dos dados tabelados, iniciou-se o processo de modelagem CAD através do *software Solidworks*©, e através das ferramentas disponíveis nos ambientes “*Draw*” e “*Skecht*” construiu-se os modelos que, segundo os dados, estavam em falta e seriam necessários para uma melhor abordagem didática com os discentes, conforme

mostra a Figura 8 e Figura 9.



Figura 8 – Modelo dentário molar desenvolvido em *software* computacional.

Fonte: Próprio Autor.

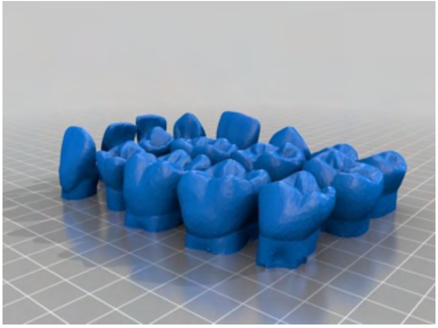


Figura 9 – Todos os modelos desenvolvidos em *software* computacional.

Fonte: Próprio Autor, 2020.

Os modelos foram construídos em escala 1:1, todavia seu tamanho pode ser ajustado no pré-processamento da impressão, em que são estabelecidos os parâmetros da impressão dentro do *software* da impressora utilizada, chamados "*Simplify3D*" e "*Repetier-Host"*, podendo assim alterar a escala final de impressão, ampliando ou reduzindo.

## 3.3 Impressão 3D

O processo de impressão se dá através do salvamento do modelo 3D no formato "STL" e, por conseguinte é exportado para a impressora que realizará automaticamente o processo de fatiamento do modelo e a geração do código "G" de impressão, o qual definirá o melhor trajeto para a realização da impressão do modelo. As impressoras utilizadas foram da Universidade São Francisco, *campus* de Itatiba, da marca *Sethi3D*© , representada na Figura 10, e da empresa Labtrix cuja marca é Anycubic©, a qual é representada na Figura 11, e o material utilizado será filamento ABS na cor branca para que os discentes possam interagir com o modelo e representar o dente, propriamente dito.

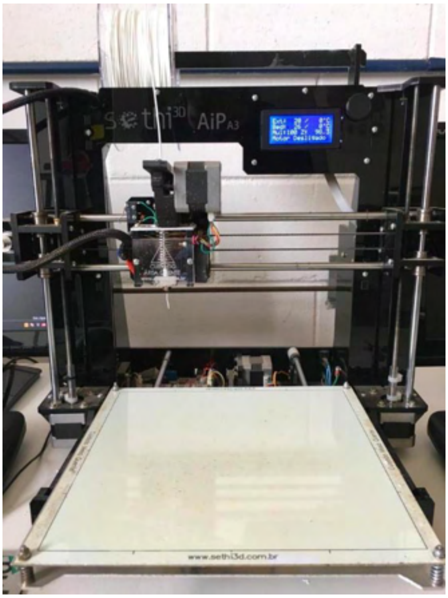



Figura 10 – Impressora Sethi3D AiP A3, utilizada nas últimas impressões.

Fonte: Próprio Autor, 2020.

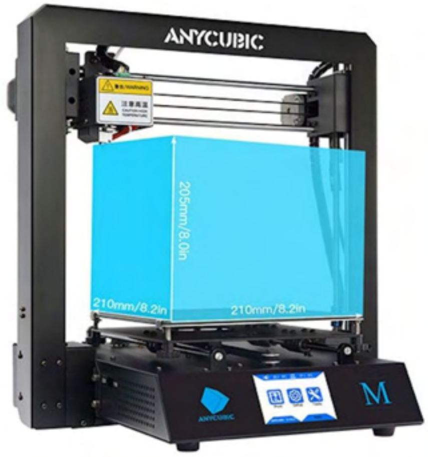



Figura 11 – Impressora ANYCUBIC.

Fonte: ANYCUBIC, 2020.

## 4 I RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Levantamento de dados e Modelagem CAD

Inicialmente foi feita uma reunião juntamente com o Prof. Marcelo Zanesco, responsável pela disciplina de anatomia, docente da Universidade São Francisco, *campus*

de Bragança Paulista, São Paulo. Esta reunião trouxe dados importantes para que pudesse dar-se início, de fato, à modelagem e desenhos dos dentes e modelos dentários tridimensionais para impressão. A partir disto, foram feitas as modelagens de quatro tipos dentários, sendo eles: 1 (um) dente molar, 1 (um) dente pré-molar, 1 (um) dente canino e 1 (um) dente incisivo. Os modelos escolhidos para o presente trabalho foram do dente molar e do dente pré-molar, representados pelas figuras 12 e 13, respectivamente.

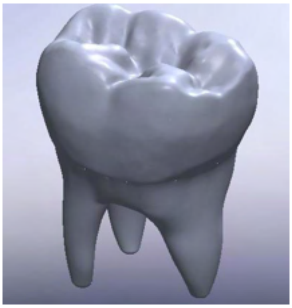


Figura 12 – Modelo do dente molar.

Fonte: Próprio Autor, 2020.



Figura 13 – Modelo do dente pré-molar.

Fonte: Próprio Autor, 2020.

Devido à grande complexidade da geometria dos dentes molares e pré-molares, realizar o modelamento desde o começo tornou-se praticamente inviável, tendo em vista que a geometria dos dentes é, em sua maioria, irregular. A opção que apresentou mais viabilidade foi utilizar-se de modelos escaneados por uma empresa norte-americana especializada em engenharia reversa chamada *Embodi3D – The biomedical 3D printing community***,** que os disponibiliza gratuitamente em seu *site*. Já os dentes caninos e incisivos apresentam uma geometria uniforme, tornando possível a sua modelagem em um *software* CAD. Para que seja possível realizar a impressão dos dentes projetados, torna-se

necessário salvar todos os modelos criados no formato STL, tendo em vista que o *software* utilizado pela impressora consegue abrir somente arquivos salvos neste formato.

## 4.2 Validação dos modelos tridimensionais construídos

Feito o embasamento dos modelos molar e pré-molar, foi realizada uma nova reunião com o professor orientador, juntamente com o Prof. Marcelo Zanesco, com o objetivo de validar os modelos criados e, posteriormente, dar-se continuidade à metodologia aplicada e sugerida. A tabela 3 apresenta os pontos levantados na reunião, que legitimaram os modelos apresentados e os aprovou para a impressão. Além disso, citou os benefícios que os estudantes do curso de odontologia teriam se, durante as aulas práticas, eles pudessem observar os modelos de forma ampliada, possibilitando que houvesse um maior engajamento por parte dos discentes, aumentando, assim, o rendimento e permitindo uma aprendizagem mais concreta.

| Tipo dentário | Validação |
|---|---|
| **Molar** | O.K. |
| **Pré-molar** | O.K. |
| **Canino** | (sugerido)* |
| **Incisivo** | (sugerido)* |

Tabela 3 – Relação: Tipo dentário; Validação

Fonte: Próprio Autor.

## 4.3 Impressão 3D dos modelos dentários

Com a validação dos modelos apresentados, o próximo passo a ser dado foi a impressão 3D propriamente dita. Para realizar o processo de impressão, foi utilizada a impressora da marca *Anycubic,* como mostra a Figura 14. A impressora possui um software chamado *Simplify3D*, que é responsável por realizar a impressão dos arquivos anteriormente enviados ao sistema. Abrindo os modelos, torna-se possível controlar, dentro do próprio programa, alguns parâmetros de impressão como preenchimento e a resolução de impressão. No caso dos modelos dentários utilizados, a resolução escolhida foi a “*High”* (0,1 mm). Essa é a melhor resolução que a impressora apresenta e isso permite que as camadas, após o término da impressão, estejam mais uniformes.

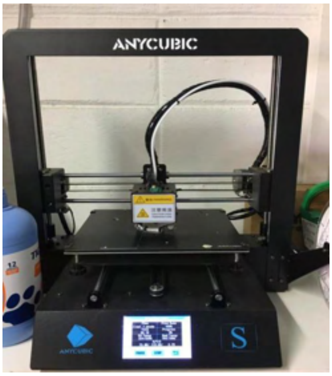



Figura 14 – Impressora utilizada nas primeiras impressões.

Fonte: Próprio Autor, 2020

Com o objetivo de encontrar a melhor opção de preenchimento, foram realizados, primeiramente, dois testes em escala real, para fins de correção de eventuais falhas que poderiam acontecer durante a impressão do modelo. O primeiro teste, representado na figura 15, mostra que, devido à impressão ser em casca, houve pontos de falha em que a impressora não pode fazer o preenchimento correto das camadas. Para o segundo teste, realizou-se uma melhora interna no modelo, adotando um suporte para que a impressão pudesse se apoiar e imprimir sem mais eventuais falhas, conforme a Figura 16.



Figura 15 – Primeiro teste de impressão com 5% de preenchimento, escala 1:1.

Fonte: Próprio Autor, 2020.

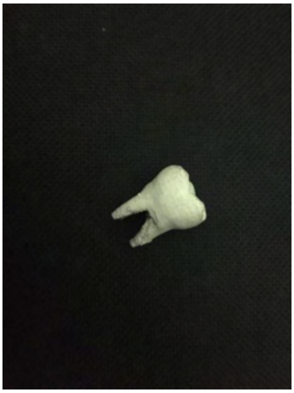


Figura 16 – Primeiro teste de impressão com 5% de preenchimento, escala 1:1.

Fonte: Próprio Autor, 2020.

Partindo para os modelos em escala ampliada, tornou-se necessário realizar outros dois testes, cada um com um percentual de preenchimento diferente, com o objetivo de encontrar qual seria a melhor opção. O primeiro teste, conforme mostram as Figuras 15 e 16, foi realizado com um preenchimento de 5%. Tendo concluída a primeira impressão ampliada após treze horas, verificou-se que devido à geometria do modelo ter superfícies negativas, ou seja, com inclinação para baixo, houve falhas na impressão na face oclusal do modelo não obtendo uma fixação ideal é devido às camadas impressas. O segundo teste foi realizado tomando como base 15%, ilustrado nas Figuras 17 a 20.



Figura 17 – Vista lateral da seção transversal do primeiro teste em escala 10:1.

Fonte: Próprio Autor, 2020.



Figura 18 – Vista superior da seção transversal do primeiro teste em escala 10:1.

Fonte: Próprio Autor, 2020.

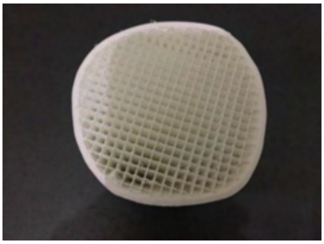


Figura 19 – Segundo teste de impressão com 15% de preenchimento, escala 10:1.

Fonte: Próprio Autor, 2020.

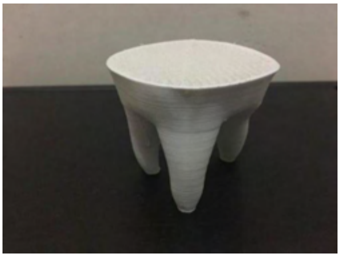


Figura 20 – Segundo teste de impressão com 15% de preenchimento.

Fonte: Próprio Autor, 2020).

Devido à dificuldade encontrada, por motivos geométricos e anteriormente desconsiderados, a solução encontrada foi manter a impressão com preenchimento de 15%, agregando maior resistência ao modelo impresso e uma maior sustentação e integridade das camadas impressas e, consequentemente, garantindo a fluidez da impressão por completo, sem falhas e com uniformidade.

Anteriormente, para todos os modelos impressos, fez-se uso da impressora *Anycubic* cedida gentilmente pela empresa Labtrix, para que fosse possível a realização de todas as impressões em corte e os testes preliminares. Posteriormente utilizou-se da impressora da Universidade São Francisco, *campus* de Itatiba-SP, da marca *Sethi3D*, para finalizar as impressões e finalizar o estudo sobre a manufatura aditiva e poder concluir a metodologia, adotando uma solução de impressão diferente que se inicia pela coroa do dente e tem seu término pela raiz. Conforme mostra a Figura 21, fez-se a penúltima impressão completa do modelo, com parâmetros seguidos e ajustados conforme a Tabela 4.

| Resolução | Escala | Suporte | Preenchimento | Preenchimento do suporte | Temperatura da Extrusora | Temperatura da Mesa |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,2 mm | 10:1 | Ativo | 15% | 5% | 245°C | 110°C |

Tabela 4 – Parâmetros das impressões, desde a primeira até a penúltima impressão.

Fonte: Próprio Autor.



Figura 21 – Penúltimo teste de impressão com 15% de preenchimento.

Fonte: Próprio Autor, 2020.

Dado início à última impressão, com os parâmetros conforme a Tabela 5, conclui-se a metodologia e como apresentado na Figura 22 o último modelo impresso, sendo este também validado.

| Resolução | Escala | Suporte | Preenchimento | Preenchimento do suporte | Temperatura da Extrusora | Temperatura da Mesa |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,2 mm | 10:1 | Ativo | 15% | 5% | 245°C | 110°C |

Tabela 5 – Parâmetros da última impressão

Fonte: Próprio Autor.



Figura 22 – Último teste de impressão com 15% de preenchimento.

Fonte: Próprio Autor, 2020.

## 5 I CONCLUSÃO

O presente trabalho tem por objetivo realizar a impressão de modelos dentários, através da manufatura aditiva, que posteriormente serão utilizados como material didático pelos alunos do curso de odontologia do *campus* de Bragança Paulista, SP, da Universidade

São Francisco, tendo em vista a deficiência encontrada nos atuais recursos  para realizar um estudo mais aprofundado acerca da anatomia dentária.

Através dos levantamentos realizados junto ao professor de anatomia do curso de odontologia, onde foram citadas as atuais dificuldades encontradas por parte dos alunos, tomou-se a decisão de encontrar os modelos apropriados para suprir tal necessidade. Dentre os modelos criados, estes foram baseados em escaneamentos reais e construídos a partir de um *software* CAD. Considerando que os modelos em questão possuem uma geometria irregular, não foram encontradas grandes dificuldades para gerar a modelagem baseada em um modelo pré-existente.

Para que fosse possível a realização da impressão, os modelos deveriam ser salvos no formato “STL” e exportados para a impressora através de uma mídia externa (cartão SD) ou pelo próprio *software* utilizado. Posteriormente, deu-se início a impressão propriamente dita onde foram feitos cinco testes, visando verificar se existiriam erros para que, desta forma, fossem corrigidos. Os testes iniciais, realizados em escala reduzida, apresentaram uniformidade quanto à impressão, possibilitando a realização de outros testes em escala ampliada. Decorrente disso, iniciaram-se os testes em escala ampliada, porém dificuldades foram encontradas devido a posição de impressão previamente estabelecida, a porcentagem de preenchimento e, também, a morfologia dos dentes. Para que fosse possível solucionar as adversidades anteriormente citadas, adotou-se uma posição de impressão diferente, onde a impressão inicia-se pela coroa ao invés das raízes, onde o suporte gerado pelo próprio *software* serviu de sustentação para o modelo, evitando a falha antecedentemente ocorrida e, por fim, implementou-se um valor quanto ao preenchimento, fornecendo maior resistência e fluidez para a impressão, fazendo com que a sua morfologia não se tornasse um empecilho durante o processo.

Feitas as devidas correções, o objetivo apresentado e a metodologia sugerida foram concluídos e seguidos de acordo com o que foi estabelecido, obtendo um resultado plausível. Os modelos impressos em escala ampliada e os arquivos utilizados serão doados aos discentes da Universidade São Francisco, do *campus* de Bragança Paulista, SP. Com isso, os alunos terão a possibilidade de aperfeiçoar a abordagem didática da anatomia dentária que, em decorrência da quantidade e tamanho dos modelos atuais, tornou-se limitada. Através dos modelos desenvolvidos e posteriormente impressos, esta limitação deixa de existir, pois permitirá realizar um estudo mais aprofundado, onde possibilita efetuar não só anotações no próprio modelo, como também a impressão de outros modelos em larga escala.

## REFERÊNCIAS


ABREU, A. C. Impressão 3D: Considerações sobre o futuro impacto na área da moda. In: COLÓQUIO DE MODA, 13., 2017, Bauru. **13º Colóquio de Moda - 11 a 15 de outubro de 2017 - UNESP.** Bauru: Anais, 2017. p. 1-15.

CANEVAROLO JUNIOR, S.V. **Ciência dos Polímeros**: um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2006. 280 p.

COROMANT, S. Um pouco da história da manufatura aditiva. **Revista Ferramental**, Santa Catarina, 19 jun. 2019. Tecnologia, p. 1-3. Disponível em: <https://www.revistaferramental.com.br/?cod=artigo/historia-da-manufatura-aditiva/>. Acesso em: 28 maio 2020.

DANTAS, I. M.; PACHECO, L. N.; SILVA, R. F.; SANTOS, S. L. **Implantação de Impressão 3D: Melhoria no processo de projetos no grupo açotubo**. 2018. 17 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Faculdade Carlos Drummond de Andrade, São Paulo, 2018.

DAWOOD, A.; MARTI, B.; SAURET-JACKSON, V.; DARWOOD, A. 3D printing in dentistry. **British Dental Journal**, [s.l.], v. 219, n. 11, p. 521-529, 11 dez. 2015. Springer Science and Business Media LLC.

GUTIERRES, D. V.; FERRARINI, C.; SIGAHI, T. F. A. C.; SALTORATO, P.; BORRAS, M. A. A. Aspectos operacionais da manufatura aditiva e impressão 3D no laboratório de desenvolvimento de produtos na UFSCAR/Sorocaba. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 37., 2017, Sorocaba. **ENEGEP.** Sorocaba: Anais, 2017. p. 1-26.

J&P, RH Moderno. **Utilização da Ferramenta 5W2H**. Rio de Janeiro: J&P RH Moderno, 26 fev. 2016. Disponível em: http://jprhmoderno.blogspot.com/2016/02/utilizacao-da-ferramenta-5w2h.html. Acesso em: 17 jun. 2020.

KOHLI, T. M. 3D Printing in Dentistry - An Overview. **Acta Scientific Dental Sciences** v.3, p. 35-41, may/june. 2019.

LOPES, F. S. **A utilização da impressão 3D no ensino de projeto do produto: Um estudo de caso no curso de engenharia de produção da UFRJ**. 2014. 143 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Curso de Engenharia de Produção, UFRJ/COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2014.

MADEIRA, M. C. **Anatomia do Dente**. 5. ed. São Paulo: Sarvier, 2007. 142 p.

MARCONDES, R. M. **Caracterização de Sistemas Poliméricos Multifásicos e sua Importância na Estratégia de Múltiplo Fornecimento**. 2015. 78 f. TCC (Graduação) -Curso de Engenharia de Materiais e Manufatura, Engenharia de Materiais e Manufatura, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

MATOZINHOS, I. P.; MADUREIRA, A. A. C.; SILVA, G. F.; MADEIRA, G. C. C.; OLIVEIRA, I. F. A. **Impressão 3D: Inovações no campo da medicina**. 2017. 20 f. TCC (Graduação) - Curso de Medicina, Faculdade de Ciências Médicas de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

SHAHRUBUDIN, N.; LEE, T.C.; RAMLAN, R. An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications. In: 2nd International Conference on Sustainable Materials Processing and Manufacturing (SMPM 2019), 2., 2019, Malaysia. **Science Direct.** Batu Pahat: Elsevier, 2019. p. 1286-1296.

VAROTSIS, A. B. 3D printing vs. CNC machining. **3D Hubs**, Amsterdam, 2020. Disponível em: https://www.3dhubs.com/knowledge-base/3d-printing-vs-cnc-machining/#intro. Acesso em: 28/05/2020.

VOLPATO, N. **Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D** [livro eletrônico] / Neri Volpato. – São Paulo: Blucher, 2017. 400 p.; PDF.

.

WEN, C. Homem Virtual (Ser Humano Virtual 3D): A Integração da Computação Gráfica, Impressão 3D e Realidade Virtual para Aprendizado de Anatomia, Fisiologia e Fisiopatologia. **Revista de Graduação USP**, v. 1, n. 1, p. 7-15, 18 jul. 2016.

ZMORPH3D, VX. **3D Printer**. Polônia, 2020. Disponível em: https://zmorph3d.com/product/zmorph-vx. Acesso em: 17 jun. 2020.

# SOBRE OS ORGANIZADORES

**FÁBIO ANDRIJAUSKAS -** Possui graduação em Ciência da computação pela Universidade São Francisco (2007). Mestre pela Faculdade de Tecnologia da Unicamp, na área de processamento de alto desempenho e processamento de imagens astronômica e Doutorando na Faculdade de Tecnologia da Unicamp na área de computação de alto desempenho e dinâmica molecular. Atualmente é professor da Universidade São Francisco campi Campinas e Itatiba na área de Computação para os cursos de Engenharia de Computação, Ciência da Computação, Sistemas de Informação e Tecnólogos ministrando as disciplinas de Computação Gráfica, Sistemas Multimídia, Sistemas Operacionais, Programação Orientada a Objeto, Algoritmos e Programação de Computadores, dentre outras. Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Computação de Alto Desempenho, atuando principalmente nos seguintes temas: astronomia, processamento de imagem, processamento de alto desempenho e reconhecimento de padrão.

**ANNETE SILVA FAESARELLA -** Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1993), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (1995) e doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais pela Universidade de São Paulo (2001). Atualmente é docente e pesquisadora na Universidade São Francisco (2012), em que atua nos cursos presenciais de Engenharia Elétrica, Engenharia Mecânica e Engenharia de Produção, bem como no curso EAD Gestão da Produção. Tem experiência na área de sistemas elétricos de potência, máquinas elétricas, materiais elétricos, atuando principalmente nos seguintes temas: energias renováveis, proteção de sistemas elétricos de potência e veículos elétricos.

**LAIRA LUCIA DAMASCENO DE OLIVEIRA -** Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2006), mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental (2010), doutorado em Ciências (2014), ambos pelo Programa de Pós-graduação em Ciências da Engenharia ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Realizou o Doutorado sanduíche no Departamento de Biologia, Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, Campus de Santiago, Universidade de Aveiro, Portugal. Atualmente é docente e Pesquisadora na Universidade São Francisco (2015- Atual), atuando nos cursos presenciais de: Engenharia Ambiental e Sanitária, Engenharia Civil, Engenharia Mecânica, Engenharia Elétrica, Engenharia Química, Engenharia de Produção e Engenharia de Computação; Biomedicina, Enfermagem, Fisioterapia, Medicina Veterinária e Nutrição; e EAD, tais como Educação Física e Serviço Social. Tem experiência na área de Ciências ambientais, Ecotoxicologia aquática, Ecologia de zooplâncton atuando principalmente nos seguintes temas: sustentabilidade, testes ecotoxicológicos com invertebrados aquáticos, água, sedimento, fármacos, biomarcadores enzimáticos e comunidade zooplanctônica de reservatórios.



# **Engenharia Moderna:** Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria 3


www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2022



**Engenharia Moderna:** Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria 3

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2022